



**SOFIA DE OLIVENÇA  
MALANHO**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ETICS COM  
ACABAMENTO DE LADRILHOS CERÂMICOS**







**SOFIA DE OLIVENÇA  
MALANHO**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ETICS COM  
ACABAMENTO DE LADRILHOS CERÂMICOS**

Dissertação elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica da Doutora Maria do Rosário da Silva Veiga, Investigadora Principal com Habilitação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil e da Professora Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa, Professora auxiliar da Universidade de Aveiro, no âmbito do contrato entre a UA e o LNEC.



À Engenheira Rosário Veiga  
e ao Professor Nuno Silvestre



## **o júri**

presidente

**Professora Doutora Margarida João Fernandes de Pinho Lopes**  
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

**Professora Doutora Maria Paulina Santos Forte de Faria Rodrigues**  
professora associada da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

**Doutora Maria do Rosário Veiga**  
investigadora principal com habilitação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

**Professora Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa**  
professora auxiliar da Universidade de Aveiro





## **agradecimentos**

À Direção do LNEC por me colocar à disposição todas as condições necessárias para a realização deste trabalho.

À chefia do Departamento de Edifícios, Engenheiros Jorge Grandão Lopes, José Vasconcelos Paiva e Jorge Saraiva pelos oportunos conselhos e pelo rigor na correção de trabalhos desenvolvidos nesta área.

À Universidade de Aveiro por me permitir desenvolver este trabalho no âmbito da dissertação de mestrado.

Às minhas orientadoras Engenheira Maria do Rosário Veiga e Professora Ana Luísa Velosa, um especial agradecimento, pela constante disponibilidade, incansável orientação científica, exigência, incentivo, e otimismo.

À empresa Saint-Gobain Weber Portugal por disponibilizar a estação natural do Carregado para a execução dos ensaios e pelo fornecimento de materiais e de mão de obra para as aplicações dos sistemas no LNEC; aos seus colaboradores: Engenheiros Vasco Pereira, Luís Silva, Nuno Vieira e Pedro Sequeira, pela sua contribuição na discussão dos resultados e transmissão da sua experiência e conhecimentos.

Ao colega Cláudio Cruz pelo persistente apoio, críticas, comentários, sugestões e correções.

Ao Professor Nuno Silvestre, e aos meus colegas Ana Fragata, Idália Gomes, Martha Tavares, Sónia Costa e Silva, Ana Cristian Magalhães e António Vilhena pelo apoio e conselhos que me foram dando ao longo da dissertação.

Aos colegas Bento Sabala, Ana Maria Duarte, Luís Carmo, Sílvia Costa, Giovanni Borsoi, Sandro Botas e Hildebrando Cruz que me ajudaram na execução da campanha experimental, e que partilharam sugestões e ideias.

Aos Engenheiros Carlos Pina dos Santos, Luís Matias, Ricardo Gomes e Rodrigo Rodrigues que ajudaram na área da térmica dos edifícios.

Aos restantes colegas do NRI e do DED.

Aos meus pais, avós, irmão e ao Tiago.



## **palavras-chave**

Metodologia de avaliação, sistemas de isolamento térmico, ETICS, acabamento de ladrilhos cerâmicos.

## **resumo**

Os Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior são considerados sistemas inovadores; a sua aplicação confere aos edifícios uma melhoria do isolamento térmico, uma redução das pontes térmicas e deste modo contribui para a durabilidade da estrutura. Estes sistemas possibilitam a aplicação de uma diversidade de acabamentos. Os acabamentos de ladrilhos cerâmicos, com tradição em Portugal, quando aplicados sobre o sistema de ETICS proporcionam uma melhoria na resistência ao impacto e no comportamento ao fogo. A avaliação do desempenho e durabilidade de ETICS é realizada com base no "ETAG 004 - Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with rendering", que estabelece requisitos e métodos de ensaio. No entanto, os ETICS com acabamentos de ladrilhos cerâmicos não são abrangidos por ETAG 004. Este estudo apresenta uma metodologia de avaliação para o desempenho de ETICS com acabamentos de ladrilhos cerâmicos. Foi desenvolvida uma campanha experimental com o objetivo de dar resposta a problemas que possam surgir em sistemas com este tipo de acabamento, tais como: destacamentos de ladrilhos, condensações devido à diminuição da permeabilidade ao vapor de água, aumento da massa do sistema por m<sup>2</sup> do sistema e influência na resistência de aderência da cola, fissuração da argamassa das juntas (provocando infiltrações de água). Para avaliar o comportamento do ETICS ao longo do tempo, foi efetuada uma campanha experimental ao sistema submetido a ambiente natural e após ciclos higrotérmicos (envelhecimento artificial com ciclos de calor-chuva e calor-frio).



**keywords**

Assessment methodology, thermal insulation systems, ETICS, finishing ceramic tiles.

**abstract**

External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) are innovative systems; their application improves the buildings' thermal insulation, reduces thermal bridges, thus increasing the structure durability. They enable the application of a diversity of finishing materials.

Ceramic tiles finishing, which are very traditional in Portugal, if applied on ETICS, provides an improvement of impact resistance and fire behavior of the systems.

The assessment of ETICS performance and durability is carried out based on "ETAG 004 – Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with rendering", that establishes requirements and test methods. However, systems with ceramic tiles finishing are not covered by ETAG 004.

This study presents an assessing methodology for performance of ETICS with ceramic tiles finishing.

The experimental campaign was developed in order to answer to the most serious defects that can occur in ETICS with ceramic tiles finishing: detachment of tiles; condensation inside thermal insulation caused by the decrease of water vapour permeability; increase of the system mass per  $m^2$  and influence on bond strength of the adhesive and cracking of the joints (causing infiltrations of water).

To try to predict the behavior of ETICS over time, an experimental campaign was carried out on a system submitted to natural environment and on a similar system after hygrothermal cycles (artificial ageing with heat-rain and heat-cold cycles).



## publicações

### revista internacional

Santos, TP; Malanho, S; Vale, AC; Veiga, R; AP Carvalho; Vaz, M Fatima. *Ultrasonic testing of ceramic tiles submitted to protection treatments* (artigo submetido e aceite para a NDT & E International a aguardar publicação).

### relatório Inec

VEIGA, M. do Rosário; MALANHO, S. (2009). *Regras para a Concessão de uma Aprovação Técnica Europeia (ETA) de Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS)*. Lisboa: LNEC (setembro). Relatório n.º 280/2009 – NRI.

### congressos nacionais e internacionais

MALANHO, Sofia; VEIGA, M. Rosário; Velosa, Ana Luísa (2012). *Sistemas de isolamento térmico do tipo ETICS: garantir a segurança e melhorar a resistência ao impacto*. Resumo alargado submetido: Jornadas LNEC – Cidades e Desenvolvimento. Lisboa, 18 a 20 junho.

MALANHO, Sofia; VEIGA, M. Rosário; Velosa, Ana Luísa (2012). *Análise do comportamento de argamassas de juntas entre ladrilhos cerâmicos aplicados sobre ETICS através do ensaio de ultrassons*. Apresentação oral: PATORREB 2012 – 4º Congresso de Patologia e reabilitação de edifícios. Santiago de Compostela, 12 a 14 de abril.

MALANHO, Sofia; VEIGA, M. Rosário; Velosa, Ana Luísa (2012). *Adaptação do ensaio de aderência para análise de ETICS com acabamento cerâmico*. Apresentação oral em: APFAC 2012 – 4º Congresso Português de Argamassas de Construção. Coimbra: Universidade de Coimbra, 29 e 30 de março.

MALANHO, Sofia; VEIGA, M. Rosário (2011). *Análise do desempenho das juntas entre ladrilhos cerâmicos aplicados sobre ETICS*. In IX SBTA – Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Belo Horizonte, 17 a 20 de maio (Atas em CD).

MALANHO, Sofia; VEIGA, Maria do Rosário (2011). *Performance of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with finishing ceramic tiles*. Apresentação oral. 12th International Conference on the Durability of Building Materials and Components. Porto (Portugal): FEUP. 12th – 15th April.

VEIGA, Maria do Rosário; MALANHO, Sofia (2010). *Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS): Comportamento global e influência dos componentes*. Apresentação oral. APFAC 2010 - 3º Congresso Português de Argamassas de Construção. Lisboa: LNEC, 18 e 19 março.





# **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ETICS COM ACABAMENTO DE LADRILHOS CERÂMICOS**

## **ÍNDICE DE TEXTO**

<b>ÍNDICE DE TEXTO .....</b>	<b>I</b>
<b>ÍNDICE DE QUADROS .....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Importância e justificação do tema da dissertação .....	1
1.2 Objetivos da dissertação .....	2
1.3 Organização da dissertação .....	2
<b>2. ESTADO DA ARTE .....</b>	<b>4</b>
2.1 Generalidades .....	4
2.2 Características gerais dos ETICS .....	5
2.3 Funções e características dos componentes dos ETICS .....	7
2.4 Avaliação da qualidade e exigências .....	11
2.5 Patologia em ETICS com acabamento cerâmico .....	18
2.5.1 Generalidades .....	18
2.5.2 Anomalias .....	18
<b>3. CAMPANHA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>21</b>
3.1 Linhas de orientação .....	21
3.2 Características do sistema ETICS selecionado e parâmetros a analisar .....	23
3.3 Descrição e objetivos dos ensaios .....	26
3.3.1 Generalidades .....	26
3.3.2 Envelhecimento natural (estado novo, com 1 ano de idade e 2 anos de idade) .....	26

3.3.3 Envelhecimento artificial com execução do ensaio higrotérmico .....	26
3.3.4 Ensaio de resistência ao choque de 3 J, de 10 J e ensaio de perfuração.....	27
3.3.5 Ensaio de aderência.....	29
3.3.6 Ensaio de absorção de água por capilaridade .....	31
3.3.7 Ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão com Tubos de Karsten .	32
3.3.8 Ensaio de permeabilidade ao vapor de água.....	33
3.3.9 Ensaio para determinação do módulo de elasticidade com recurso a ultrassons.....	35
3.3.10 Aumento da massa por m <sup>2</sup> do sistema e influência na resistência de aderência à cola .....	37
3.4 Critérios para análise dos resultados .....	38
3.4.1 Generalidades.....	38
3.4.2 Ensaio de envelhecimento natural (estado novo, com 1 ano de idade e 2 anos de idade).....	38
3.4.3 Ensaio de envelhecimento artificial.....	39
3.4.4 Ensaio de resistência ao choque de 3 J, de 10 J e ensaio de perfuração.....	40
3.4.5 Ensaio de aderência.....	42
3.4.6 Ensaio de absorção de água por capilaridade .....	43
3.4.7 Permeabilidade à água sob baixa pressão com recurso a tubos de Karsten ...	44
3.4.8 Ensaio de permeabilidade ao vapor de água.....	44
3.4.9 Ensaio para determinação do módulo de elasticidade com recurso a ultrassons.....	45
3.4.10 Aumento da massa por m <sup>2</sup> do sistema e influência na resistência de aderência à cola .....	45
3.5 Apresentação e análise dos resultados.....	46
3.5.1 Ensaio de envelhecimento natural (estado novo, com 1 ano de idade e 2 anos de idade).....	46
3.5.2 Ensaio de envelhecimento artificial.....	46

3.5.3 Ensaio de resistência ao choque de 3 J, de 10 J e ensaio de perfuração .....	47
3.5.4 Ensaio de aderência .....	49
3.5.5 Ensaio de absorção de água por capilaridade .....	54
3.5.6 Ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão com recurso a tubos de Karsten .....	54
3.5.7 Ensaio de permeabilidade ao vapor de água .....	57
3.5.8 Ensaio para determinação do módulo de elasticidade com recurso a ultrassons .....	60
3.5.9 Aumento da massa por m <sup>2</sup> do sistema e influência na resistência de aderência à cola .....	62
3.6 Estudo paramétrico.....	63
3.6.1 Generalidades .....	63
3.6.2 Parâmetros analisados .....	63
3.7 Conclusões parciais resultantes da análise dos resultados .....	78
3.8 Análise dos resultados de acordo com os problemas previstos para acabamentos de ladrilhos cerâmicos sobre ETICS .....	84
<b>4. METODOLOGIA PROPOSTA DE ENSAIO E AVALIAÇÃO DE ETICS COM ACABAMENTO DE LADRILHOS CERÂMICOS.....</b>	<b>85</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>88</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>91</b>

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos ETICS de acordo com a combinação dos resultados dos ensaios de choque e perfuração e zonas possíveis de aplicação nas fachadas dos edifícios com base no ETAG 004 (EOTA 2000).....	15
Quadro 2 – As exigências para a aderência do produto de colagem ao isolante térmico e ao betão previstas no ETAG 004 (EOTA 2000) .....	16
Quadro 3 – As exigências para os componentes do ETICS segundo ETAG 004 (EOTA 2000).....	17
Quadro 4 – Ensaio selecionados para a campanha experimental, organizados segundo as exigências essenciais previstas no ETAG 004 (EOTA 2000) .....	21
Quadro 5 – Objetivos dos ensaios e possíveis problemas a evitar .....	22
Quadro 6 – Variação de alguns parâmetros em relação ao sistema ETICS tipo com acabamento Padrão .....	24
Quadro 7 – Características dos vários tipos de acabamentos cerâmicos em estudo.....	24
Quadro 8 – Ensaio de aderência e profundidade das incisões .....	29
Quadro 9 – Adaptação das exigências após ciclos higrotérmicos para acabamentos aplicados sobre ETICS.....	39
Quadro 10 – Classificação dos ETICS com acabamento por pintura de acordo com a combinação dos resultados dos ensaios de choque e perfuração e possíveis zonas de aplicação nas fachadas dos edifícios (adaptado de EOTA 2000).....	40
Quadro 11 – Critérios de apreciação do ensaio de aderência do revestimento (acabamento cerâmico + camada de base) ao isolante.....	42
Quadro 12 – Critérios de apreciação do ensaio de aderência do acabamento cerâmico (ladrilho + argamassa de refechamento de junta + produto de colagem dos ladrilhos).....	42
Quadro 13 – Critérios para análise dos resultados de absorção de água e análise do comportamento ao gelo .....	44
Quadro 14 – Critérios para análise dos resultados de permeabilidade ao vapor de água	45
Quadro 15 – Resistência ao choque e perfuração.....	49
Quadro 16 – Aderência do revestimento ao isolante .....	51

.Quadro 17 – Aderência do acabamento cerâmico à camada de base .....	53
Quadro 18 – Absorção de água por capilaridade – ETICS com acabamento Padrão, Alheta, pintura e sem acabamento (estado novo) .....	54
Quadro 19 – Permeabilidade à água sob baixa pressão na zona da argamassa de junta.....	56
Quadro 20 – Permeabilidade à água sob baixa pressão na zona da argamassa de junta.....	57
Quadro 21 – Permeabilidade ao vapor de água – provetes de ETICS com acabamento Padrão, Alheta, pintura e sem acabamento (estado novo).....	59
Quadro 22 – Módulo de elasticidade com ultrassons na zona da argamassa de junta.....	60
Quadro 23 – Módulo de elasticidade com ultrassons na zona do ladrilho .....	61
Quadro 24 – Massa do sistema ETICS com diferentes tipos de acabamentos por m <sup>2</sup> .....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Habitação com aplicação de acabamento por pintura (zona 1) e por madeira (zona 2) sobre sistema ETICS.....	5
Fig. 2 – Edifício de habitação com aplicação de ladrilhos cerâmicos sobre sistema ETICS .....	5
Fig. 3 – Sistema ETICS com isolante térmico fixado por colagem ao suporte (retirada VEIGA and MALANHO 2010 a).....	7
Fig. 4 – Sistema ETICS com isolante térmico fixado por sistema mecânico – perfis verticais (retirada VEIGA and MALANHO 2010 a).....	7
Fig. 5 – Aplicação das cavilhas plásticas sobre o isolante.....	25
Fig. 6 – Aplicação das cavilhas plásticas após a aplicação da rede .....	25
Fig. 7 – Acabamento Padrão aplicado sobre ETICS.....	25
Fig. 8 – Acabamento Preto aplicado sobre ETICS.....	25
Fig. 9 – Acabamento Alheta aplicado sobre ETICS .....	25
Fig. 10 – Acabamento Cinza aplicado sobre ETICS .....	25
Fig. 11 – Acabamento Beje aplicado sobre ETICS .....	25
Fig. 12 – Localização da zona junto à janela (zona 1) e de uma zona ao longo da fachada (zona 2) .....	25
Fig. 13 – Localização das zonas de reforçadas próximas da janela .....	25
Fig. 14 – Provete do sistema.....	25
Fig. 15 – Aplicação do sistema sobre suporte não rebocado.....	25
Fig. 16 – Aplicação do sistema sobre suporte rebocado.....	25
Fig. 17 – Câmara higratérmica sobre sistema aplicado sobre murete .....	27
Fig. 18 – Ensaio higratérmico em curso (ciclo de calor a 70 °C) .....	27
Fig. 19 – Pormenorização do sistema aplicado sujeito ao ensaio higratérmico .....	27
Fig. 20 – Ensaio de choque de 3 J .....	28
Fig. 21 – Resultados de ensaio de choque de 3 J sobre acabamento Alheta .....	28

Fig. 22 – Mossa resultante do impacto de 10 J .....	28
Fig. 23 – Ensaio de perfuração .....	29
Fig. 24 – Não perfurou com punção de 4 mm .....	29
Fig. 25 – Sistema após ensaio de perfuração (zona que não resistiu ao punção de 12 mm) .....	29
Fig. 26 – Execução das incisões.....	30
Fig. 27 – Incisão após choque de 10 J.....	30
Fig. 28 – Execução do ensaio de aderência .....	30
Fig. 29 – Ensaio de absorção de água por capilaridade – fase de imersão da superfície do acabamento .....	32
Fig. 30 – Determinação da massa após imersão do acabamento Padrão.....	32
Fig. 31 – Determinação da massa após imersão do acabamento Alheta .....	32
Fig. 32 - Zona do ladrilho isolada com silicone para análise apenas da argamassa de junta.....	33
Fig. 33 - Tubos de <i>Karsten</i> aplicados na argamassa de junta.....	33
Fig. 34 - Tubos de <i>Karsten</i> aplicados na zona do ladrilho.....	33
Fig. 35 – Provetes e recipientes de plásticos com a substância condicionadora.....	35
Fig. 36 – Preparação dos provetes .....	35
Fig. 37 – Ensaio de permeabilidade ao vapor de água .....	35
Fig. 38 – Ensaio de ultrassons.....	36
Fig. 39 – Realização do ensaio de ultrassons sobre revestimento aplicado sobre murete .....	36
Fig. 40 – Presença de fissuração próximo da janela em ETICS com acabamento por pintura sujeito a ciclos higrotérmicos .....	40
Fig. 41 – Presença de fissuração e empolamento próximo da janela em ETICS com acabamento por pintura sujeito a ciclos higrotérmicos .....	40
Fig. 42 – Fissuração na junta de dilatação em ETICS com acabamento por pintura sujeito a ciclos higrotérmicos .....	40

Fig. 43 – Sistema após ensaio de choque de esfera de 10 J (com fendilhação do revestimento e penetração no isolante) .....	41
Fig. 44 – Mossa resultante do choque de 3 J sobre acabamento Padrão sobre ETICS...	41
Fig. 45 – Resultado obtido no ensaio de perfuração sobre acabamento Padrão .....	41
Fig. 46 – Rotura coesiva no isolante em ETICS com acabamento por pintura .....	43
Fig. 47 – Rotura coesiva no isolante em ETICS com acabamento cerâmico .....	43
Fig. 48 – Rotura coesiva no isolante e na camada de base.....	43
Fig. 49 – Rotura coesiva no isolante, devido à incisão envolver a rede .....	43
Fig. 50 – Rotura coesiva na camada de base.....	43
Fig. 51 – Rotura adesiva entre camada de base e isolante .....	43
Fig. 52 – Aspeto geral do ETICS antes dos ciclos higrotérmicos.....	47
Fig. 53 – Aspeto geral do ETICS após ciclos higrotérmicos .....	47
Fig. 54 – Ensaio de choque de 3 J e 10 J com variação do parâmetro – acabamento cerâmico aplicado sobre ETICS/reboco.....	64
Fig. 55 – Ensaio de aderência do revestimento ao isolante com variação do parâmetro – acabamento cerâmico aplicado sobre ETICS/reboco .....	64
Fig. 57 – Ensaio com tubos de <i>Karsten</i> com variação do parâmetro – acabamento cerâmico aplicado sobre ETICS/reboco.....	64
Fig. 58 – Ensaio de choque de 3 J e 10 J com variação do parâmetro – comportamento do ETICS até dois anos de idade.....	65
Fig. 59 – Ensaio de aderência do revestimento ao isolante com variação do parâmetro – comportamento do ETICS até dois anos de idade.....	65
Fig. 60 – Ensaio de aderência do acabamento cerâmico à camada de base com variação do parâmetro – comportamento do ETICS até dois anos de idade ...	66
Fig. 61 – Ensaio do módulo de elasticidade na zona da argamassa de junta com variação do parâmetro – comportamento do ETICS até dois anos de idade ...	66
Fig. 62 – Análise do ensaio do módulo de elasticidade no ladrilho com variação do parâmetro - comportamento do ETICS até dois anos de idade e variação do tipo de ladrilho .....	66



Fig. 63 – Análise do ensaio com tubos de Karsten sobre a argamassa de junta com variação do parâmetro - comportamento do ETICS até dois anos de idade.....	66
Fig. 64 – Ensaio de choque de 3 J e de 10 J com variação do parâmetro – tipo de envelhecimento.....	67
Fig. 65 – Ensaio de aderência do revestimento ao isolante com variação do parâmetro – tipo de envelhecimento .....	67
Fig. 66 – Ensaio de aderência do acabamento cerâmico à camada de base com variação do parâmetro – tipo de envelhecimento.....	68
Fig. 67 – Ensaio do módulo de elasticidade na argamassa de junta com variação do parâmetro – tipo de envelhecimento .....	68
Fig. 68 – Ensaio do módulo de elasticidade na zona do ladrilho com variação do parâmetro – tipo de envelhecimento .....	68
Fig. 69 – Ensaio com tubos de <i>Karsten</i> sobre a argamassa de junta com variação do parâmetro – tipo de envelhecimento .....	68
Fig. 70 – Ensaio com tubos de <i>Karsten</i> sobre a zona do ladrilho com variação do parâmetro – tipo de envelhecimento .....	68
Fig. 71 – Ensaio de choque de 3 J e de 10 J com variação do parâmetro – variação do tipo de acabamento .....	70
Fig. 72 – Ensaio de aderência do revestimento ao isolante com variação do parâmetro – variação do tipo de acabamento .....	70
Fig. 73 – Ensaio de aderência do acabamento cerâmico à camada de base com variação do parâmetro – variação do tipo de acabamento .....	70
Fig. 74 – Análise do ensaio com tubos de <i>Karsten</i> sobre a zona do ladrilho com variação do parâmetro – variação do tipo de acabamento .....	70
Fig. 75 – Ensaio de permeabilidade ao vapor de água – variação do tipo de acabamento .....	71
Fig. 76 – Aumento de massa do sistema ETICS – variação do tipo de acabamento.....	71
Fig. 77 – Absorção de água por capilaridade – variação do tipo de acabamento.....	71
Fig. 78 – Ensaio de aderência do revestimento ao isolante com variação do parâmetro – variação da zona da fachada ensaiada.....	72

Fig. 80 – Ensaio do módulo de elasticidade na argamassa de junta com variação do parâmetro – variação da zona da fachada ensaiada .....	73
Fig. 81 – Ensaio de aderência do revestimento ao isolante com variação do parâmetro – localização das cavilhas .....	73
Fig. 82 – Ensaio de aderência do acabamento cerâmico à camada de base com variação do parâmetro – localização das cavilhas .....	73
Fig. 83 – Ensaio de aderência do revestimento ao isolante com variação do parâmetro – suporte rebocado ou não rebocado .....	74
Fig. 84 – Ensaio de aderência do acabamento cerâmico à camada de base com variação do parâmetro – suporte rebocado ou não rebocado.....	74
Fig. 85 – Ensaio do módulo de elasticidade na argamassa de junta com variação do parâmetro – dimensões do sistema ETICS .....	75
Fig. 86 – Ensaio do módulo de elasticidade na zona do ladrilho com variação do parâmetro – dimensões do sistema ETICS .....	75
Fig. 87 – Ensaio de aderência do revestimento ao isolante com variação do parâmetro – sistema sujeito a choque de 10 J.....	76
Fig. 88 – Ensaio com tubos de <i>Karsten</i> sobre a argamassa de junta com variação do parâmetro – tipo de ambiente (exterior/interior) .....	77
Fig. 89 – Ensaio com tubos de <i>Karsten</i> sobre a zona do ladrilho com variação do parâmetro – tipo de ambiente (exterior/interior).....	77

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Importância e justificação do tema da dissertação

A dissertação insere-se na área de revestimentos de paredes de edifícios, focando os Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS).

A sua aplicação em paramentos exteriores de paredes confere aos edifícios uma melhoria do isolamento térmico, bem como uma correção das pontes térmicas. Por outro lado, estes sistemas podem apresentar limitações no que diz respeito à sua resistência aos choques, à perfuração e resistência ao fogo, que podem ser melhoradas através do uso de acabamentos descontínuos, como é o caso dos ladrilhos cerâmicos. A aplicação deste tipo de acabamentos em paramentos exteriores tem uma grande tradição e valor histórico em Portugal. Por outro lado, apresentam boa resistência ao choque e melhoram o comportamento ao fogo, contribuindo para a satisfação das exigências de segurança contra incêndios.

Como os ETICS são considerados sistemas inovadores, a sua avaliação deve ser efetuada com base no “ETAG 004 – Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with rendering”, em vigor desde março de 2000 (EOTA 2000), que estabelece os requisitos e os métodos de ensaio para avaliação do cumprimento das Exigências Essenciais definidas na Diretiva dos Produtos da Construção (|P| - Leis 1993). Para os produtos ou sistemas que não estejam abrangidos por este ou por outro ETAG, será necessária a elaboração, pelo Instituto homologador, de um projeto de guia simplificado (CUAP - Common Understanding of Assessment Procedure) que terá que ser submetido aos restantes membros da EOTA.

Como o ETAG 004 (EOTA 2000) não prevê a utilização de acabamentos de ladrilhos cerâmicos, torna-se necessário adaptar métodos e desenvolver técnicas de ensaio para análise destes sistemas e ainda estabelecer critérios de aceitação.

Com esta dissertação pretende-se desenvolver uma metodologia de ensaio para avaliação do desempenho de ETICS com a utilização de acabamento de ladrilhos cerâmicos.

Apesar de estes revestimentos serem facilmente aplicados, a sua constituição é bastante complexa, por isso torna-se necessária uma análise sobre a influência de cada componente no comportamento global do sistema.

## **1.2 Objetivos da dissertação**

Os principais objetivos do estudo são os seguintes:

- estabelecimento de uma proposta de metodologia de ensaio e avaliação de desempenho de sistemas ETICS com acabamento de ladrilhos cerâmicos;
- avaliação das vantagens e desvantagens de ETICS com este tipo de acabamento;
- contribuição para o desenvolvimento de Sistemas Compósitos de Isolamentos Térmico pelo Exterior com um melhor desempenho e mais adaptados às condições de construção e de clima em Portugal.

## **1.3 Organização da dissertação**

A dissertação está organizada em sete capítulos:

- Capítulo 1 (Introdução) – apresenta um texto introdutório, fundamenta o tema selecionado, assim como os objetivos que se pretendem alcançar no final do estudo.
- Capítulo 2 (Estado da arte) – inclui pesquisa bibliográfica, compilação de informação sobre a área de revestimentos de paredes, características e funções dos diferentes componentes dos sistemas ETICS, exigências a eles aplicáveis e normalização em vigor. Neste capítulo ainda é apresentado um levantamento de possíveis anomalias que possam surgir em ETICS com acabamento de ladrilhos cerâmicos.
- Capítulo 3 (Campanha experimental) – apresenta as linhas de orientação para traçar a metodologia de ensaios para avaliação do desempenho dos sistemas, com recurso a uma campanha experimental. Neste capítulo são apresentados os ensaios realizados e os seus objetivos, as características do ETICS selecionado e os parâmetros a analisar, são descritos os critérios para análise dos resultados e por fim são apresentados e analisados os resultados. Foi ainda efetuado um estudo paramétrico com o objetivo de verificar a influência de cada parâmetro analisado na variação de algumas características. Neste capítulo foram também retiradas conclusões parciais dos resultados organizadas por ensaio e foram analisados os resultados de acordo com os problemas previstos para os acabamentos de ladrilhos cerâmicos sobre ETICS.

- Capítulo 4 (Metodologia de ensaio e avaliação) – estabelecimento de uma proposta de metodologia de avaliação de desempenho de sistemas ETICS com acabamento de ladrilhos cerâmicos
- Capítulo 5 (Conclusões) – são reunidas as principais conclusões obtidas no estudo, apresentadas as questões que foram sendo levantadas ao longo do trabalho conducente à dissertação e apresentados os assuntos a desenvolver no futuro.

## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1 Generalidades

O isolamento térmico das zonas opacas das fachadas pode alcançar valores aceitáveis através da utilização de sistemas de isolamento térmico aplicados pelo exterior ou pelo interior, ou inseridos no interior da caixa de ar em paredes duplas, ou, ainda, distribuído pela espessura da própria parede, constituída por materiais com características térmicas. Os sistemas aplicados pelo exterior são os que apresentam maior eficácia e mais vantagens funcionais adicionais. Um dos tipos mais usados de isolamento térmico pelo exterior são os Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior, designados pela sigla ETICS a partir da terminologia anglo-saxónica (*External Thermal Insulation Composite Systems*). Os sistemas ETICS surgiram em Portugal na década de 50, com crescente utilização tanto em construção nova como em reabilitação (VEIGA and PINA-SANTOS 2009 a).

Os ETICS corrigem as pontes térmicas reduzindo o problema das condensações no interior; melhoram o desempenho térmico de verão, já que permitem que toda a espessura da parede contribua para a inércia térmica; e protegem a estrutura e a alvenaria dos choques térmicos, contribuindo assim para o aumento da durabilidade desses elementos e conforto interior (MORET-RODRIGUES, CANHA-DA-PIEIDADE et al. 2009). Adicionalmente, apresentam algumas vantagens práticas, já que não reduzem a área interior e, no caso da reabilitação, produzem o mínimo incómodo para os utentes. Contudo, existem algumas situações em que não devem ser utilizados, por exemplo quando não se deve alterar o aspeto estético exterior do edifício ou quando não é aceitável uma redução significativa da capacidade de evaporação da água do interior da parede para o exterior (caso de paredes antigas com água de capilaridade ascendente). Os sistemas ETICS são soluções eficientes, versáteis e relativamente fáceis de aplicar (VEIGA and PINA-SANTOS 2009 b). Para além destas vantagens, estes sistemas são flexíveis, leves e possibilitam a utilização de uma grande diversidade de acabamentos e de diferentes texturas: revestimentos por pintura com tintas, revestimentos plásticos espessos (RPE) ou revestimentos minerais, de silicatos ou de cimento (EOTA 2000) (Fig. 1).

É ainda possível usar revestimentos descontínuos, como ladrilhos cerâmicos, ou de outra natureza, embora estes tipos de acabamentos não estejam ainda previstos no ETAG 004 (Fig. 2).



Fig. 1 – Habitação com aplicação de acabamento por pintura (zona 1) e por madeira (zona 2) sobre sistema ETICS

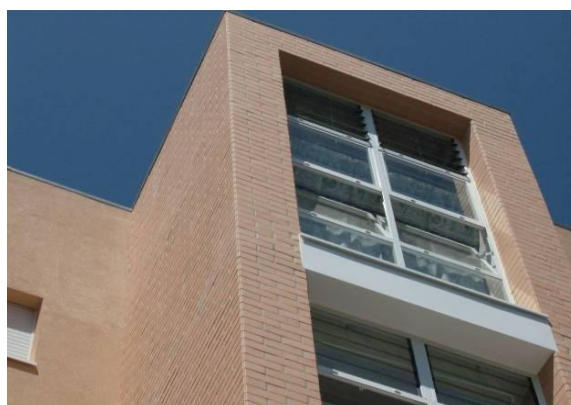


Fig. 2 – Edifício de habitação com aplicação de ladrilhos cerâmicos sobre sistema ETICS

## 2.2 Características gerais dos ETICS

Os ETICS são considerados sistemas multicomponentes (COLLINA and LIGNOLA 2010) aplicados em paramentos exteriores de edifícios; na sua constituição o elemento predominante é o isolante térmico (LNEC 1995 b). A compatibilidade entre os diferentes componentes é imprescindível, não só para adquirir um bom desempenho global do sistema, como de cada um deles, contribuindo assim para o prolongamento da sua durabilidade (VEIGA and PINA-SANTOS 2009 b e COLLINA and LIGNOLA 2010).

O sistema é constituído por uma camada de isolante térmico, que é aplicada na face exterior dos paramentos e pode ser fixada por um produto de colagem (Fig. 3) ou por fixação mecânica (Fig. 4), ou por ambos os métodos.

Nos sistemas colados, que são os mais utilizados, normalmente o produto usado na colagem das placas de isolante térmico (Fig. 3 – 2) pode ser também usado na execução da camada de base (Fig. 3 – 5) (VEIGA e MALANHO 2010 a). A colagem pode ser efetuada através de uma camada contínua ou parcialmente através de um cordão perimetral e/ou por pontos. Este método de fixação pode ainda ser reforçado por fixações mecânicas (por exemplo cavilhas plásticas) (Fig. 4 – 7), que segundo MORAIS (2007) evitam a descolagem das placas de isolante térmico até à secagem do produto de colagem das mesmas.

Nos sistemas de fixação mecânica, a ligação ao suporte pode ser efetuada através de ancoragens ou através de perfis de PVC ou metálicos, desde que o material não seja oxidável (Fig. 4 – 6) ancorados ao suporte, nos quais encaixam as placas de isolante

térmico; estes últimos sistemas podem ou não incluir fixações complementares (por exemplo com cavilhas plásticas) (EOTA 2000).

A escolha do processo de fixação do sistema ao suporte através dos perfis verticais permite a existência de uma lâmina de ar, dando a possibilidade de eliminação dos riscos de condensação no isolante térmico.

Os sistemas fixados mecanicamente por ancoragens podem ainda ser reforçados com uma argamassa de colagem complementar.

Sobre o isolante térmico é aplicada uma camada de base, que geralmente é constituída por uma ou mais subcamadas, e por uma camada de regularização. Em cada subcamada deverá ser incorporada uma única rede. Normalmente, as camadas de base são reforçadas por uma rede normal, ou duas redes normais, ou por uma rede normal e uma reforçada.

Neste tipo de sistemas pode ser aplicada uma grande diversidade de acabamentos: revestimentos por pintura com tintas, revestimentos plásticos espessos (RPE) ou revestimentos minerais, de silicatos ou de cimento. É ainda possível usar revestimentos descontínuos de dimensões reduzidas, como ladrilhos cerâmicos, embora estes tipos de acabamentos não estejam previstos no ETAG 004 (EOTA 2000).

Estes sistemas podem ser aplicados em suportes de alvenaria (por exemplo constituídos por tijolos, blocos ou pedra) ou de betão (betonados *in situ* ou pré-fabricados) (EOTA 2000); contudo, não deverão ser aplicados em paredes antigas, espessas e porosas, sobretudo se possuírem elevados teores de água no seu interior, uma vez que dificultarão o seu funcionamento, conduzindo ao aparecimento ou aceleração dos processos de degradação (VEIGA and MALANHO 2010 a; VEIGA and MALANHO 2010 b).



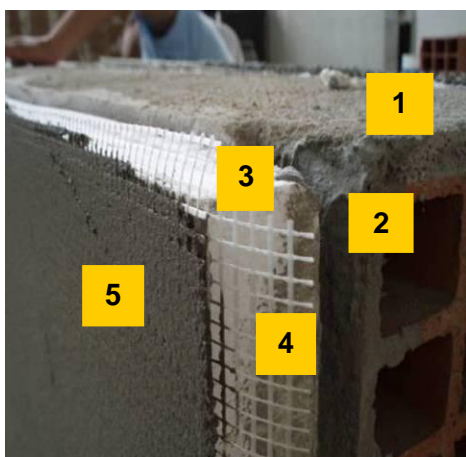


Fig. 3 – Sistema ETICS com isolante térmico fixado por colagem ao suporte (retirada VEIGA and MALANHO 2010 a)

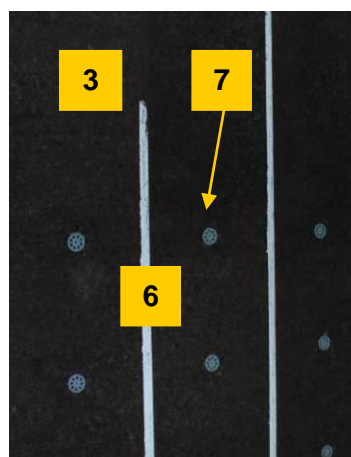


Fig. 4 – Sistema ETICS com isolante térmico fixado por sistema mecânico – perfis verticais (retirada VEIGA and MALANHO 2010 a)

Legenda das Fig. 3 e Fig. 4:

1 – suporte (alvenaria de tijolo furado); 2 – produto de colagem das placas isolantes térmicos; 3 – isolante térmico; 4 – armadura (rede de fibra de vidro); 5 – camada de base com a armadura incorporada; 6 – perfis verticais e 7 – cavilhas plásticas.

## 2.3 Funções e características dos componentes dos ETICS

### a) Produto para colagem das placas ao suporte

O produto utilizado para colagem das placas de isolante térmico ao suporte estabelece a ligação entre o suporte e o isolante térmico e é normalmente constituído por uma argamassa mista de cimento e resina, que é aplicada sobre o isolante (VEIGA and PINA-SANTOS 2009 a; VEIGA and PINA-SANTOS 2009 b), sob a forma de uma camada contínua ou através de um cordão perimetral e dois ou mais pontos centrais ou ainda só através de pontos.

### b) Elementos de fixação mecânica

#### b.1) Cavilhas plásticas

As cavilhas plásticas são geralmente utilizadas na ligação entre os componentes da solução de isolamento térmico e o elemento de suporte; a sua função é transferir para o suporte, na zona de ancoragem, os esforços de tração e/ou corte induzidos. Cada cavilha é constituída por um elemento de expansão, de aço ou material polimérico, e por uma bainha plástica de expansão, de material polimérico (ex: polietileno, polipropileno). Podem ser consideradas como fixação principal mecânica ou fixação adicional à colagem (MIRANDA-DIAS 2009).

## b.2) Perfis de PVC

Estes perfis são aplicados normalmente quando o suporte não oferece condições favoráveis (fixação mecânica principal). Permitem a existência de uma lâmina de ar entre o suporte e o ETICS (VEIGA and PINA-SANTOS 2009 a; VEIGA and PINA-SANTOS 2009 b).

## c) Isolante térmico

De todos os componentes do ETICS, o isolante térmico é o material ou produto que tem a seu cargo reduzir a transmissão térmica, processo designado por isolamento térmico (LNEC 1995 b e PINA-SANTOS and MATIAS 2008). Esta redução de fluxo térmico é quantificada pela condutibilidade térmica ( $\lambda$ ); assim, considera-se que quanto menor a condutibilidade térmica, maior será a capacidade de isolamento térmico que o elemento construtivo possui (MATIAS 2002).

Os isolantes térmicos são apresentados no mercado de diversas formas, de entre as quais, placas, mantas, rolos, e outras; os exemplos referidos ainda podem ser classificados como rígidos (exceto os rolos), semirrígidos e flexíveis (LNEC 1995 b). Os isolantes térmicos mais usados na Europa em ETICS são as placas de poliestireno expandido moldado (EPS – *Expanded Polystyrene*) e os painéis de lã mineral (MW – *Mineral Wood*). Em países como Áustria, Itália e Suíça usam-se também placas de aglomerado de cortiça expandida (ICB – *Insulation CorkBoard*). Em Portugal é utilizado geralmente o EPS, mas também se usam outros isolantes, como o poliestireno expandido extrudido (XPS – *Extruded polystyrene foam*) e o aglomerado de cortiça expandida (ICB – *Insulation CorkBoard*) (VEIGA and PINA-SANTOS 2009 a e VEIGA and PINA-SANTOS 2009 b).

Outras características que os isolantes devem possuir para contribuir para o bom funcionamento do sistema são um baixo módulo de elasticidade transversal, para não provocarem a degradação da camada de base (VEIGA and PINA-SANTOS 2009 a; VEIGA and PINA-SANTOS 2009 b); alguma resistência à absorção de água, pois a presença de humidade provoca aumento na condutibilidade térmica e diminuição da resistência térmica; e boa permeabilidade ao vapor de água (LNEC 1995 b).

Em Portugal as espessuras mais comuns dos isolantes térmicos são da ordem de 40 mm a 80 mm. Estas dimensões são escolhidas de acordo com os valores de resistência térmica que se pretende obter. Para atingir valores consideráveis quanto ao desempenho térmico isolante é aconselhada a aplicação de isolantes térmicos com espessuras da

ordem de 60 mm ou superior, aplicados em camadas contínuas e com condutibilidade térmica inferior a 0,065 W/(m. °C) (VEIGA and PINA-SANTOS 2009 b).

d) Camada de base

Em geral, a argamassa para a colagem das placas de isolante térmico é também utilizada para a execução da camada de base (vd. 2.3 a)). A camada de base pode ser aplicada em uma ou duas sub-camadas, sendo incorporada em cada uma delas uma rede de fibra de vidro. A camada de base ainda pode incluir uma outra terceira subcamada para proporcionar uma boa aderência à camada seguinte – o acabamento. A camada de regularização deverá apresentar uma superfície rugosa, resultante do próprio processo de aplicação ou sendo posteriormente obtida por raspagem ou riscagem do paramento.

É importante que a camada de base tenha uma boa aderência ao isolante, assim como deverá apresentar um baixo módulo de elasticidade, para poder acompanhar as deformações do isolante, evitando a ocorrência de fissuração (VEIGA and PINA-SANTOS 2009 b).

A resistência à fissuração pode ser conseguida através da incorporação da rede de fibra de vidro e/ou de um reajuste da dosagem de ligante da argamassa (VEIGA and PINA-SANTOS 2009 b).

A camada de base deverá apresentar uma baixa absorção de água por capilaridade, para constituir uma barreira à penetração de água, evitando que o isolante perca as suas características de resistência térmica (vd. 2.3 c)) (LNEC 1995 a).

Uma outra função da camada de base é conferir ao sistema resistência mecânica, que no caso dos ETICS com acabamentos cerâmicos, pode ser garantida através do uso deste tipo de acabamentos.

Em estudos já efetuados anteriormente (VEIGA and MALANHO 2010 a) a sistemas ETICS verificou-se que a camada de base tem uma influência determinante no comportamento dos sistemas ao ensaio higrotérmico. Com efeito, é essencial que o produto da camada de base apresente boa resistência à fissuração, boa aderência ao suporte e permeabilidade ao vapor de água relativamente elevada para que não ocorram anomalias significativas no sistema durante os ciclos.

e) Rede de fibra de vidro

A rede de fibra de vidro é incorporada nas sub-camadas da camada de base, com o objetivo de melhorar o comportamento face à fendilhação e ao choque e nas zonas mais baixas expostas poderá ser incorporada uma rede reforçada (LNEC 2007), que no caso

dos ETICS com acabamento cerâmico poderá ser dispensável. Assim, a camada de base armada consegue adquirir uma tensão de rotura superior, resistindo melhor às tensões de tração e tem maior tenacidade, ou seja, absorve mais energia quando solicitada ao choque (VEIGA and PINA-SANTOS 2009 b).

As redes de fibra de vidro podem ser atacadas pelos álcalis presentes no cimento, portanto as redes sofrem, tendencialmente, uma redução da sua resistência mecânica e da sua elasticidade ao longo do tempo, quando em contacto com esses materiais. Por essa razão, as redes de fibra de vidro a usar como armadura de revestimentos de paredes têm que ter proteção contra o ataque dos álcalis, para que a sua durabilidade seja suficiente (LNEC 2007).

A dimensão da malha e a massa por unidade de superfície devem ser compatíveis com a argamassa para a execução da camada de base, ou seja de acordo com a granulometria e a textura da argamassa (LNEC 2007).

A rede de fibra de vidro ainda pode ser utilizada de uma forma complementar em zonas pontuais, como por exemplo em vértices dos vãos (que constituem pontos de concentração de tensões).

#### f) Acabamentos

O acabamento final normalmente é constituído por uma pintura especial ou por um revestimento plástico espesso (RPE) de ligante sintético, ou, mais raramente, mineral ou misto, e agregados finos calibrados de elevada resistência, ou ainda por outros revestimentos não abrangidos pelo Guia (EOTA 2000), como é o caso dos revestimentos descontínuos tais como os ladrilhos cerâmicos (VEIGA and MALANHO 2010 a e VEIGA and MALANHO 2010 b).

Os acabamentos deverão contribuir para a resistência aos choques e ainda conferir impermeabilidade ao sistema, não reduzindo de uma forma excessiva a permeabilidade ao vapor de água. Por outro lado, o acabamento tem uma função decorativa, ou seja, deve conferir e manter ao longo do tempo um bom aspeto estético.

Os acabamentos aplicados sobre os ETICS devem ser preferencialmente de cores claras. Estas cores facilitam a obtenção de uma coloração uniforme nos paramentos e minimizam a absorção da radiação solar pelo revestimento e, portanto, as correspondentes variações dimensionais de origem térmica, que vão dar origem a tensões elevadas e a maior tendência para a fissuração. A aplicação de acabamentos de cores escuras deve ser limitada a zonas dos paramentos razoavelmente protegidas da ação dos agentes climáticos, nomeadamente da radiação solar (LNEC 2011). Pelas

mesmas razões, também nos revestimentos de ladrilhos cerâmicos a aplicar sobre ETICS devem ser evitadas as cores escuras.

Os acabamentos cerâmicos aplicados sobre ETICS são normalmente aplicados através de um processo de colagem (LNEC 2004) O acabamento cerâmico aplicado é normalmente constituído pelos ladrilhos cerâmicos, produto de assentamento ao sistema de ETICS e produto de preenchimento das juntas entre ladrilhos (espaço que delimita ladrilhos adjacentes) (MALANHO and VEIGA 2011 b). É importante que haja uma compatibilidade mecânica, geométrica e química entre o revestimento cerâmico e a camada de base.

#### g) Elementos auxiliares

##### g.1) Perfis metálicos

Os perfis utilizados como componentes auxiliares são normalmente de alumínio perfurado e têm como função reforçar zonas mais suscetíveis a fissuração, como arestas, peitoris e platibandas; estes perfis ainda podem ser utilizados no arranque do sistema (EOTA 2000 e VEIGA and PINA-SANTOS 2009 b).

## **2.4 Avaliação da qualidade e exigências**

Os ETICS são considerados sistemas inovadores, para os quais ainda não existe uma norma europeia harmonizada. Para sistemas inovadores é preparado um Guia para Aprovação Técnica (ETAG), elaborado por um grupo de peritos representantes dos membros da EOTA, que serve de base aos estudos de concessão de ETA (Aprovação Técnica Europeia).

Para os produtos ou sistemas que ainda não dispõem de um ETAG (EOTA 2000), é elaborado um projeto de guia simplificado (CUAP - *Common Understanding of Assessment Procedure*) pelo organismo membro da EOTA que recebe o pedido da correspondente ETA. Esse projeto é depois submetido a consulta dos restantes membros e, após eventual revisão tendo em conta os comentários recebidos no processo de consulta, é finalmente aprovado a nível da EOTA.

A ETA é concedida com base num ETAG, ou, se este não existir, num CUAP, e é válida por 5 anos, em todo o espaço europeu. A ETA destina-se a comprovar a conformidade de um produto ou sistema com requisitos definidos a nível Europeu pela EOTA. Para os produtos e sistemas inovadores, abrangidos por ETAG's ou CUAP's, a marcação CE é atribuída com base, não em normas, mas numa ETA (VEIGA and MALANHO 2010 b).

Este documento estabelece os requisitos e os métodos de ensaio para avaliação das características dos sistemas que permitam que as obras onde forem incorporados satisfaçam as Exigências Essenciais definidas na Diretiva dos Produtos da Construção (|P| - Leis 1993).

A Diretiva dos Produtos da Construção (|P| - Leis 1993) define seis Exigências Essenciais (EE) para as obras de construção civil e de engenharia civil onde os produtos, materiais e sistemas de construção estejam incorporados:

- estabilidade (EE1) – não é aplicável a ETICS por não serem elementos estruturais;
- segurança contra riscos de incêndio (EE2);
- higiene, saúde e ambiente (EE3);
- segurança no uso (EE4);
- proteção contra o ruído (EE5) – não está prevista a sua aplicação no ETAG por se considerar que os ETICS não têm que contribuir para o isolamento acústico;
- economia de energia (EE6).

A durabilidade e a adequabilidade ao uso e a adaptação à utilização normal são, por seu lado, propriedades essenciais para que as exigências referidas façam sentido.

A análise do comportamento global dos ETICS é efetuada de acordo com o ETAG 004 (EOTA 2000) da seguinte forma:

## EE2 – Segurança contra riscos de incêndio

A avaliação do desempenho de reação ao fogo dos ETICS é efetuada tanto ao sistema completo como apenas ao isolante térmico, de acordo com a norma portuguesa NP EN 13501-1 (CEN 2007).

O seu desempenho depende fundamentalmente das características do revestimento exterior e do isolante térmico e da integridade do conjunto quando em contacto com a chama. Os ETICS são classificados segundo as classes europeias aplicáveis – classes A1 a F, incluindo produção de fumos (s1, s2 e s3) e libertação de partículas ou gotas inflamadas (d0, d1 e d2) (PINA-SANTOS 2009).

Na regulamentação nacional de segurança contra incêndios as exigências de reação ao fogo dependem da altura do edifício (exigências mais gravosas para edifícios mais altos). As classificações exigidas para ETICS podem variar entre as classes C-s3, d0 (e isolante térmico da classe E), no caso de edifícios de pequena altura, e a classe B-s2,d0 para edifícios com altura superior a 28 m (VEIGA and PINA-SANTOS 2009 b).

## EE3 – Higiene, saúde e ambiente

- Absorção de água por capilaridade

Segundo os critérios definidos para os ETICS com acabamento por pintura no ETAG 004 (EOTA 2000), o sistema só é considerado satisfatório se a água absorvida pelo sistema sem acabamento (a superfície em contacto com a água é a camada de base) ou a água absorvida pelo sistema com cada um dos acabamentos for após 1 h menor ou igual a 1 kg/m<sup>2</sup>. Devido à possibilidade de contacto do isolante com a água (através da sua penetração), também é estabelecido o limite de 1 kg/m<sup>2</sup> após 24 h de imersão parcial.

- Estanquidade
  - Comportamento higrotérmico

Para análise do comportamento higrotérmico, o Guia ETAG 004 (EOTA 2000) exige que os ETICS com acabamentos por pintura sejam sujeitos a um ensaio com uma câmara higrotérmica, que é efetuado 28 dias após a sua secagem, com ciclos de calor-chuva e calor-frio, simulando ciclos climáticos e produzindo um envelhecimento artificial.

Segundo este Guia, os ETICS com acabamento por pintura apresentam um comportamento satisfatório quando após este ensaio não se observam empolamentos, destacamentos, fissuração ou perda de aderência. Se o ETICS apresentar alguma das anomalias referidas, terá que se proceder à análise da causa do problema e reformular a

constituição do ETICS (VEIGA and PINA-SANTOS 2009 b), por exemplo através da introdução de elementos de reforço.

No caso do acabamento cerâmico podem-se estabelecer requisitos paralelos, admitindo que, no caso de surgimento de anomalias, o ajustamento do sistema possa ser feito, por exemplo, através da diminuição das dimensões do ladrilho utilizado ou da escolha de cores mais claras para os ladrilhos.

O Guia dos ETICS (EOTA 2000) refere que quando surgem fissuras nos acabamentos por pintura, deverão ser realizadas remoções de camadas para observar qualquer penetração de água no ETICS. Quando se verificam apenas fissuras superficiais, o comportamento global pode não ser afetado.

- Comportamento gelo-degelo

Através dos resultados obtidos no ensaio de capilaridade também pode ser possível classificar o sistema quanto ao comportamento ao gelo-degelo. Assim, se a água absorvida pelo revestimento do sistema for inferior a  $0,5 \text{ kg/m}^2$ , considera-se o ETICS resistente ao gelo-degelo sem necessidade de ensaios adicionais.

- Resistência ao choque e à perfuração

Para ETICS com acabamentos por pintura, os critérios previstos no ETAG 004 (EOTA 2000) permitem classificar os ETICS em três categorias – I, II ou III, através da combinação dos ensaios de choque de 3 J e de 10 J e ensaio de perfuração (Quadro 1). A categoria atribuída ao sistema corresponderá a diferentes zonas e condições de exposição aos choques da fachada (Quadro 1) (EOTA 2000).

Das três categorias a I é a mais favorável uma vez que permite a aplicação em zonas muito acessíveis ao público e sujeitas a choques; porém é a mais difícil de ser atingida em ETICS com acabamento por pintura.

No caso do sistema ser penetrado pelo ensaio de choque de 3 J, ou perfurado com punção de 20 mm, o ETICS será considerado como não satisfatório. A este sistema não pode ser atribuída nenhuma categoria, ou seja, não tem as condições mínimas admissíveis de resistência ao choque para ser aplicado em fachadas.



Quadro 1 – Classificação dos ETICS de acordo com a combinação dos resultados dos ensaios de choque e perfuração e zonas possíveis de aplicação nas fachadas dos edifícios com base no ETAG 004 (EOTA 2000)

Classificação	Combinação dos resultados dos ensaios de choque de 3 J, choque de 10 J e perfuração	Zonas da fachada onde poderão ser aplicados de acordo com a categoria correspondente
Categoria I	sem deterioração após choque de esfera de 3 J e de 10 J e sem perfuração com punção de 6 mm	zonas muito acessíveis ao público e como tal sujeitas a choques
Categoria II	sem penetração com choque de esfera de 10 J sem fendilhação com choque de 3 J e sem perfuração com punção de 12 mm	zonas de acesso limitado ou zonas públicas acima de 2 m do solo
Categoria III	sem penetração com choque de 3 J e sem perfuração com punção de 20 mm	zonas pouco expostas a choques, por ex.: zonas acima de 2 m do solo de edifícios com acesso reservado.

- Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade ao vapor de água é analisada através da espessura da camada de ar de difusão equivalente ( $S_d$ ) do revestimento completo (camada de base mais acabamento). O valor obtido não deve ser superior a 2,0 m para os sistemas em que o isolante térmico utilizado é um plástico celular (caso do poliestireno expandido) e não deve ser superior a 1,0 m para os sistemas com lã mineral (EOTA 2000). O valor resultante do ensaio permite analisar o risco de condensação internas.

Para o componente isolante térmico (isoladamente dos outros componentes do sistema) não é exigido nenhum valor para a permeabilidade ao vapor de água, apenas é pedido que seja declarado o valor do fator de resistência à difusão do vapor de água  $\mu$  (EOTA 2000).

#### EE4 – Segurança no uso

- Aderência da camada de base ao isolante – após ensaio higrotérmico

Os ETICS com acabamento por pintura para cumprirem as exigências de aderência da camada de base ao isolante deverão apresentar um valor de resistência ao arrancamento igual ou superior a  $0,08 \text{ N/mm}^2$ , ou a rotura após o arrancamento da carote deverá ocorrer no seio do isolante (EOTA 2000). No caso dos ETICS com acabamento cerâmico têm que ser definidas exigências superiores devido ao maior peso e risco envolvido.

- Aderência do produto de colagem ao isolante térmico e ao betão

Estas aderências são determinadas em provetes no estado seco e após imersão em água. As exigências são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 – As exigências para a aderência do produto de colagem ao isolante térmico e ao betão previstas no ETAG 004 (EOTA 2000)

Ensaio	Condições	Exigências
Aderência do produto de colagem ao isolante	Estado seco	Tensão de aderência $\geq 0,08 \text{ N/mm}^2$
	Após imersão em água	Tensão de aderência $\geq 0,03 \text{ N/mm}^2$ , 2 horas após a remoção dos provetes da água Tensão de aderência $\geq 0,08 \text{ N/mm}^2$ , 7 dias após a remoção dos provetes da água
Aderência do produto de colagem ao betão	Estado seco	Tensão de aderência $\geq 0,25 \text{ N/mm}^2$
	Após imersão em água	Tensão de aderência $\geq 0,08 \text{ N/mm}^2$ , 2 horas após a remoção dos provetes da água Tensão de aderência $\geq 0,25 \text{ N/mm}^2$ , 7 dias após a remoção dos provetes da água

- Resistência da sucção do vento

Este ensaio de sucção de vento é efetuado em sistemas fixados mecanicamente ao suporte através de perfis. Consiste em aplicar cargas cíclicas de sucção sobre o sistema de ETICS aplicado sobre muretes, com o objetivo de analisar sinais de degradação, nomeadamente dos seguintes tipos: rotura dos painéis de isolante, laminação no isolante ou entre o isolante e o revestimento, destacamento do revestimento, arrancamento das fixações, destacamento dos painéis de isolante em relação ao suporte.

- Características dos componentes dos ETICS

O Quadro 3 apresenta algumas das características de vários componentes dos ETICS que são consideradas necessárias à satisfação desta Exigência essencial (EOTA 2000).

Quadro 3 – As exigências para os componentes do ETICS segundo ETAG 004 (EOTA 2000)

Componente	Ensaio	Exigência
Isolante térmico	Resistência ao corte	$\geq 0,02 \text{ N/mm}^2$
	Módulo de elasticidade transversal	$\geq 1,0 \text{ N/mm}^2$
	Condutibilidade térmica ( $\lambda = e/R$ ) (Equação 1)	$\lambda \leq 0,065 \text{ W/(m. } ^\circ\text{C)}$
Cavilhas plásticas	Resistência ao arrancamento	Declarar apenas valor obtido no ensaio ou referir valor da ETA, caso possuam
Perfis (em PVC)	Resistência à tração de parafusos aos perfis	$\geq 500 \text{ N}$
Camada de base armada	Determinação da largura das fissuras (que é sugerida pelo ETAG 004)	Não está prevista nenhuma exigência
	Poderão ser determinadas outras características como a tensão de rotura (N/mm) e a tensão de rotura na abertura da 1ª fissura (N/mm)	—

d – espessura do isolante (m) ; R – resistência térmica ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ )

#### EE6 – Resistência térmica

De acordo com o ETAG 004, o ETICS deverá apresentar uma resistência térmica mínima de  $1 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ . A resistência térmica é calculada a partir de  $R = e / \lambda$  (Equação 2), em que  $e$  é a espessura do isolante e  $\lambda$  o coeficiente de transmissão térmica. A espessura do isolante é determinante para atingir a resistência térmica mínima, que só é conseguida normalmente a partir de 40 mm.

#### Durabilidade e adequabilidade ao uso

O comportamento do ETICS relativamente aos aspetos de durabilidade e de adequação ao uso é avaliado mediante os resultados obtidos no ensaio higrotérmico, nos ensaios de resistência ao choque, perfuração e aderência e na resistência ao gelo-degelo.

Ainda é exigido para os componentes redes de fibra de vidro que possuam uma resistência à tração após envelhecimento artificial acelerado  $\geq 20 \text{ N/mm}$  e  $\geq 50 \%$  da resistência no estado novo.

## **2.5 Patologia em ETICS com acabamento cerâmico**

### *2.5.1 Generalidades*

Segundo ABREU and LUCAS (2002) a patologia da construção é definida como um processo de estudo para análise de anomalias que possam surgir de um modo geral na própria construção, no elemento de construção ou no material de construção. O aparecimento de anomalias em revestimentos de paredes provoca uma diminuição do desempenho (ou comportamento) previsto para o seu uso.

As anomalias, também designadas por deficiências, podem surgir devido a erros ou omissões de projeto, má seleção de materiais, aplicação ou montagem deficiente, com uso de mão de obra não especializada, ou erros de utilização. Tendo em conta o seu grau de gravidade, existem anomalias que implicam consequências a nível da segurança física dos utentes dos espaços circundantes dos edifícios e outras anomalias, que, embora de menor importância, contribuem para o mau desempenho do sistema (LNEC 1995 a e LUCAS 1990 a).

Um diagnóstico de casos patológicos consiste num estudo que se inicia por um processo de identificação das anomalias com base nos seus sintomas e prossegue até à sua reparação. O seu principal objeto de estudo é a deteção das causas primárias, que devem ser eliminadas ou controladas, antes de se proceder à reparação da anomalia (MIRANDA-DIAS 2004). No entanto, o processo deve também conduzir a um apuramento de responsabilidades.

### *2.5.2 Anomalias*

#### *a) Destacamento do ETICS do suporte*

O destacamento é caracterizado pela perda de aderência entre o isolante térmico e o suporte (ABALADA 2008 e LUCAS and ABREU 2005). Pode surgir devido a vários fatores tais como: insuficiente quantidade de produto de colagem no tardo da placa de isolante térmico (em sistemas fixados ao suporte por colagem); seleção aleatória de uma argamassa de colagem que não pertença ao sistema definido pela empresa detentora do sistema; deficiente aplicação de perfis metálicos, no caso dos sistemas fixados mecanicamente (SERRA-e-SOUSA, FREITAS et al. 2003); falta de regularização e limpeza do suporte; movimentos diferenciais do suporte em relação ao sistema; ausência de juntas de dilatação; excessiva massa total do ETICS devida à colocação de revestimentos descontínuos com elevadas massa volúmicas e/ou dimensões; ausência

das cavilhas plásticas; diminuição do desempenho destas ancoragens através da existência de fendas no suporte; corrosão das armaduras metálicas. Esta anomalia pode pôr em causa a segurança de pessoas.

b) Condensações internas no isolante

É uma anomalia que pode ocorrer no isolante e desencadear a sua degradação quando a água que atravessa o revestimento não é restituída ao exterior (RAMOS, BARREIRA et al. 2009 e LNEC 1995 b). Como os ladrilhos são geralmente muito impermeáveis ao vapor de água, o processo de libertação de vapor dá-se fundamentalmente através das juntas; por isso sistemas com juntas de reduzida largura ou praticamente inexistentes poderão estar sujeitos ao aparecimento desta anomalia.

c) Deterioração do isolante térmico

Esta anomalia pode ocorrer quando o isolante térmico entra em contacto com a água, por penetração através de fissuração no revestimento cerâmico (no ladrilho ou na argamassa de juntas), ou através das juntas de dilatação. A deterioração também pode ocorrer por dificuldade no processo de permeabilidade ao vapor de água – desencadeando-se condensações (MALANHO and VEIGA 2011 b).

d) Fissuração da camada de base

Várias causas podem estar na origem desta anomalia: insuficiente deformabilidade da camada de base; excessiva rigidez do isolante, originando tensões elevadas na camada de base; execução de espessuras muito elevadas da camada de base, tornando-a demasiado rígida ou pelo contrário espessura insuficiente, tornando-a frágil; aplicação de uma rede com dimensões de malha não compatíveis com a argamassa para a execução da camada de base; ausência de reforço em zonas mais sujeitas a choques ou pontos singulares (janelas) ou mesmo a ausência de armadura (VEIGA and PINA-SANTOS 2009 b).

e) Descolamento de ladrilhos

O descolamento de ladrilhos define-se pela perda de aderência dos ladrilhos cerâmicos quando aplicados sobre o sistema ETICS por um processo de colagem. O surgimento desta anomalia põe em causa ou mesmo elimina o seu desempenho (LUCAS and ABREU 2005).

Os descolamentos dos ladrilhos podem surgir em zonas pontuais devido a deficientes aplicações localizadas; ou podem surgir descolamentos generalizados após uma elevada

expansão dos ladrilhos, devido a má qualidade do produto de colagem, a constantes erros de aplicação ou à incompatibilidade do acabamento cerâmico com a camada de base. É das anomalias mais graves, pois coloca em risco a segurança e tem elevados custos de reparação (SERRA-e-SOUSA, FREITAS et al. 2003).

f) Fissuração de ladrilhos

Os ladrilhos podem apresentar fissuras finas, sem orientação, que podem surgir devido movimentos diferenciais dos ladrilhos e do produto de colagem (consequentes da retração de secagem elevada inicial da argamassa), ou devido a alterações volumétricas devidas a solicitações higrotérmicas (quando as larguras de juntas são bastante reduzidas ou praticamente inexistentes) (LNEC 1995 a).

g) Alteração da cor dos ladrilhos e argamassa de junta

A mudança da cor verifica-se através da alteração inicial da cor dos ladrilhos ou da argamassa de junta que poderá ocorrer em fachadas com maior exposição solar (SERRA-e-SOUSA, FREITAS et al. 2003).

h) Fissuração na argamassa de juntas

Esta fissuração pode ter origem em dilatações térmicas maiores no ladrilho do que na argamassa (relacionadas com os diferentes coeficientes de dilatação térmica dos materiais, com o coeficiente de absorção de calor característico das várias cores de ladrilhos e com as espessuras das juntas). O aparecimento de fissuração nas juntas proporciona penetração de água até ao isolante e contribui também para a deterioração do isolante referida em b).

i) Elementos biológicos na argamassa de juntas

Segundo SERRA-e-SOUSA, FREITAS et al. (2003), a superfície do acabamento torna-se propícia à fixação de micro-organismos com o humedecimento dos paramentos por períodos de tempo prolongados e com a falta de insolação, normalmente em fachadas viradas a norte. Para o caso em particular de ETICS com aplicação de ladrilhos cerâmicos, esta anomalia também poderá surgir devido a deficiências ocorridas na execução das juntas, como o não cumprimento da sua largura mínima estabelecida, que deverá ser calculada para expulsar a água infiltrada e o vapor de água.

### 3. CAMPANHA EXPERIMENTAL

#### 3.1 Linhas de orientação

Com o objetivo de traçar uma metodologia de ensaio e avaliação de ETICS com acabamento de ladrilhos cerâmicos aplicados em edifícios, foi definida uma campanha experimental no âmbito desta dissertação. Esta campanha experimental foi traçada de acordo com as exigências essenciais previstas na Diretiva dos Produtos da Construção ([P] - Leis 1993) (Quadro 4) e para evitar problemas que possam ocorrer em ETICS (Quadro 5). Uma vez que este tipo de acabamento não está abrangido pelo ETAG 004 (EOTA 2000) tornou-se necessário adaptar os métodos de ensaio previstos no referido Guia e em alguns casos adaptar ou desenvolver técnicas de ensaio para este tipo de sistemas (MALANHO and VEIGA 2011 a).

Quadro 4 – Ensaios selecionados para a campanha experimental, organizados segundo as exigências essenciais previstas no ETAG 004 (EOTA 2000)

Exigências essenciais	Característica analisada	Ensaios
Higiene, segurança e saúde (EE3)	Absorção de água	Ensaio de absorção de água por capilaridade <sup>1</sup> .
	Estanquidade	Comportamento ao gelo-degelo. Permeabilidade à água sob pressão – ensaio com recurso a tubos de <i>Karsten</i> ) <sup>2</sup> . Ensaio com recurso a ultrassons <sup>1</sup> .
	Resistência ao impacto	Ensaio de resistência ao choque com esfera de 3 J, de 10 J e perfuração.
	Permeabilidade ao vapor de água	Ensaio de permeabilidade ao vapor de água sobre o revestimento <sup>1</sup> .
Segurança no uso (EE4)	Aumento de massa	Determinação da massa do ETICS com os diferentes acabamentos <sup>3</sup> .
	Aderência do sistema no estado novo	Ensaio de aderência do acabamento cerâmico à camada de base <sup>3</sup> . Ensaio de aderência do revestimento (acabamento cerâmico + camada de base reforçada) ao isolante. Ensaio de aderência do revestimento (acabamento cerâmico + camada de base reforçada) ao isolante após choque de 10 J <sup>3</sup> .
Durabilidade e adequabilidade ao uso	Aderência do sistema após 2 anos de idade	Ensaio de aderência do acabamento cerâmico à camada de base <sup>3</sup> . Ensaio de aderência do revestimento (acabamento cerâmico + camada de base reforçada) ao isolante.
	Ensaio de envelhecimento artificial (ciclos higrotérmicos)	Análise do comportamento higrotérmico através da realização de ensaio higrotérmico (com ciclos de calor-chuva e calor-frio).
	Aderência em sistema após envelhecimento natural e artificial (após ciclos higrotérmicos)	Ensaio de aderência do acabamento cerâmico à camada de base <sup>3</sup> . Ensaio de aderência do revestimento (acabamento cerâmico + camada de base reforçada) ao isolante. Ensaio de aderência do revestimento (acabamento cerâmico + camada de base reforçada) ao isolante após choque de 10 J <sup>3</sup> .

<sup>1</sup>Ensaio adaptado para este tipo de acabamento cerâmico. <sup>2</sup>Técnica adaptada para este tipo de sistemas. <sup>3</sup>Ensaio desenvolvido para análise deste tipo de ETICS com acabamento cerâmico.

Quadro 5 – Objetivos dos ensaios e possíveis problemas a evitar

Ensaio	Objetivos dos ensaios	Possíveis problemas analisados
Envelhecimento natural (estado novo, 1 ano e 2 anos de idade)	Observar o comportamento do sistema aplicado numa parede de alvenaria em ambiente natural interior e exterior e compará-lo com diferentes idades.	Fissuração e alteração da cor da argamassa de refechamento de junta. Empolamentos, fissuração, alteração da cor, perda de aderência e destacamento de ladrilhos. Destacamento do sistema ao suporte.
Envelhecimento artificial (ensaio com câmara higrotérmica)	Observar o comportamento do sistema aplicado numa parede de alvenaria após um conjunto de ciclos de calor-chuva e calor-frio, durante cerca de 28 dias.	Os mesmos problemas referidos no envelhecimento natural.
Choque de 3 J e de 10 J	Avaliar a resistência mecânica do acabamento cerâmico (nomeadamente a zona do ladrilho).	Falta de resistência mecânica: mossas, fissuração e penetrações.
Perfuração	Avaliar a resistência à perfuração do acabamento cerâmico.	Falta de resistência mecânica: perfuração.
Aderência do acabamento cerâmico à camada de base	Análise da aderência no plano entre acabamento cerâmico e camada de base.	Falta de aderência do acabamento cerâmico à camada de base e destacamento do acabamento cerâmico.
Aderência do revestimento (acabamento cerâmico + camada de base) ao isolante	Análise da aderência no plano entre revestimento e isolante.	Falta de aderência entre revestimento e isolante e destacamento do revestimento.
Aderência do revestimento (acabamento cerâmico + camada de base) ao isolante após choque de 10 J	Análise da aderência no plano entre revestimento e isolante após choque de 10 J.	Falta de aderência entre revestimento e isolante, destacamento do revestimento após choque de 10 J ou fratura do ladrilho.
Cálculo da massa	Verificar se a massa dos ladrilhos aplicados contribui significativamente para o aumento de massa total do ETICS, através do cálculo da massa do sistema antes e depois da aplicação dos ladrilhos.	Deformações resultantes e destacamento do sistema. Esta massa deve ser considerada na definição da exigência de resistência de aderência do revestimento ao isolante.
Absorção de água por capilaridade	Verificar a capacidade do acabamento de ladrilhos cerâmicos resistir à absorção de água por capilaridade.	Penetração de água.
Permeabilidade à água sob baixa pressão com tubos de <i>Karsten</i>	Análise da estanquidade da argamassa de refechamento de juntas. Avaliar ocorrência de fissuração das juntas.	Penetração de água devida a fissuração das juntas.
Módulo de elasticidade dinâmico com recurso a ultrassons	Avaliar a compactidade e a rigidez do revestimento aplicado.	Perda de resistência mecânica ou fissuração do revestimento.
Permeabilidade ao vapor de água	Avaliar a resistência à evaporação de água.	Condensações na interface isolante – suporte ou no interior isolante



### **3.2 Características do sistema ETICS selecionado e parâmetros a analisar**

O sistema-tipo de isolamento térmico que foi selecionado como objeto central de estudo para validação da metodologia adotada é composto por placas de isolante térmico de poliestireno expandido moldado (EPS), coladas diretamente ao suporte com recurso a uma argamassa de colagem, através da aplicação de um cordão perimetral e dois pontos no centro de cada placa. A fixação de toda a camada de isolamento térmico foi reforçada com cavilhas plásticas (Fig. 5), perfuradas até ao suporte não rebocado. Sobre as placas, nas zonas especiais (arranque, peitoril, etc.), foram aplicados perfis de proteção e remate com a mesma argamassa de colagem. O produto para colagem das placas foi também utilizado para a execução de uma camada de base, na qual foi incorporada uma rede de fibra de vidro, designada por rede normal, com uma abertura de malha de 4 mm x 5 mm. Para analisar com maior rigor a influência de um determinado acabamento no comportamento do sistema, tornou-se necessária a seleção de um ETICS (camada de base armada e isolante) que cumprisse as exigências previstas no ETAG 004 (EOTA 2000), ou seja, que apresentasse um comportamento satisfatório nas condições normais de utilização. Foi selecionado o sistema objeto da ETA 11/0369 (LNEC 2011), com a substituição do acabamento por um acabamento de ladrilhos cerâmicos.

O acabamento-tipo selecionado foi um acabamento de ladrilhos cerâmicos de cor vermelha, mais usual no mercado, com juntas entre ladrilhos aproximadamente de 8 mm, refechadas com argamassa, que foi designado por acabamento Padrão (Fig. 7).

A análise do comportamento de ETICS com acabamento cerâmico envolveu outras combinações de possíveis variáveis dos sistemas analisados, que são referidas nos Quadros 6 e 7.

Quadro 6 – Variação de alguns parâmetros em relação ao sistema ETICS tipo com acabamento Padrão

Variação de parâmetros	Objetivos a atingir com a variação dos parâmetros
Idade (novo, 1 ano, 2 anos)	Analisar o comportamento ao longo do tempo
Envelhecimento natural/artificial	Comparação entre os dois tipos de envelhecimento
Tipo de ambiente	Ambiente natural interior e ambiente natural exterior
Localização da colocação das cavilhas plásticas	Comparação do comportamento do sistema quando são aplicadas cavilhas plásticas sobre as placas de isolante térmico (Fig. 5) e após a aplicação da armadura (Fig. 6).
Variação do tipo de acabamento	<p>Acabamento cerâmico (Fig. 7, Fig. 9 e Quadro 7):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– cor (análise de cor preta para verificar situação crítica em relação a elevadas dilatações térmicas);</li> <li>– dimensões do ladrilho (grandes dimensões, para analisar possíveis destacamentos);</li> <li>– largura da junta – como neste caso o sistema ETICS em estudo é fixado por um processo de colagem ao suporte, ou seja, a caixa de ar é inexistente, e os ladrilhos são pouco permeáveis ao vapor, a difusão do vapor de água será efetuada predominantemente através das juntas entre os ladrilhos. Analisou-se um acabamento do tipo Alheta com uma junta aberta de 1 mm a 2 mm .</li> </ul> <p>Acabamento por pintura:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– verificar a influência do uso da aplicação do acabamento cerâmico, comparando-o com o mesmo sistema de acabamento por pintura.</li> </ul>
Diferenciar zonas de fachadas	Zona corrente da fachada (Fig. 12 – zona 2) e zonas dos peitoris das janelas (Fig. 12 – zona 1) e zonas reforçadas próximas das janelas (Fig. 13).
Dimensões dos ETICS ensaiados	Maqueta do sistema (aplicações sobre muretes) e provetes do sistema (Fig. 14).
Características do suporte	Aplicação do sistema ETICS aplicado diretamente sobre a parede de alvenaria rebocada (Fig. 16) e não rebocada (Fig. 15).
Comparação entre ETICS com acabamento cerâmico e revestimento cerâmico aplicado sobre reboco	Comparação de um acabamento cerâmico aplicado diretamente sobre sistema ETICS e aplicado sobre reboco.

Quadro 7 – Características dos vários tipos de acabamentos cerâmicos em estudo

Designação atribuída na dissertação	Características dos ladrilhos*				Juntas	
	cor	dimensões (cm x cm x cm)	massa (g)	Porosidade/ Absorção de água (g)	Refechadas com argamassa	abertas
Padrão	vermelho	23 x 7 x 1	334	–	≈ 8 mm	–
Beje	beje	24 x 6 x 0,7	334	–	≈ 8 mm	
Cinza	cinza	30 x 15 x 0,7	859	≤ 0,2	≈ 8 mm	
Preto	preto	33 x 33 x 0,7	2130	≤ 0,2	5 mm	
Alheta	vermelho	23 x 8 x 10	377	-	-	1 a 2 mm

\*elementos fornecidos pelo fabricante.



Fig. 5 – Aplicação das cavilhas plásticas sobre o isolante



Fig. 6 – Aplicação das cavilhas plásticas após a aplicação da rede



Fig. 7 – Acabamento Padrão aplicado sobre ETICS



Fig. 8 – Acabamento Preto aplicado sobre ETICS



Fig. 9 – Acabamento Alheta aplicado sobre ETICS



Fig. 10 – Acabamento Cinza aplicado sobre ETICS



Fig. 11 – Acabamento Beje aplicado sobre ETICS



Fig. 12 – Localização da zona junto à janela (zona 1) e de uma zona ao longo da fachada (zona 2)



Fig. 13 – Localização das zonas de reforçadas próximas da janela



Fig. 14 – Provete do sistema



Fig. 15 – Aplicação do sistema sobre suporte não rebocado



Fig. 16 – Aplicação do sistema sobre suporte rebocado

### 3.3 Descrição e objetivos dos ensaios

#### 3.3.1 Generalidades

Neste subcapítulo são descritos os procedimentos para a execução de cada ensaio, alguns baseados no ETAG 004 (EOTA 2000).

#### 3.3.2 *Envelhecimento natural (estado novo, com 1 ano de idade e 2 anos de idade)*

O ensaio de envelhecimento natural consistiu na observação e no registo do comportamento dos sistemas ETICS, aplicados em paredes de alvenaria e sujeitos às condições atmosféricas. Foram feitas observações 28 dias após a sua aplicação, 1 ano e 2 anos de idade. O envelhecimento natural ocorreu tanto em ambiente natural interior, como em ambiente exterior; a aplicação destes sistemas no exterior possibilita a análise de diferentes orientações de exposição às condições atmosféricas.

#### 3.3.3 *Envelhecimento artificial com execução do ensaio higrotérmico*

O ensaio higrotérmico é um dos ensaios utilizados para analisar o comportamento global dos sistemas ETICS que está previsto no ETAG 004 (EOTA 2000), para ETICS com acabamentos por pintura (Fig. 17).

O ensaio envolveu a aplicação do sistema sobre uma parede de alvenaria, respeitando os cuidados de aplicação que são recomendados em obra, assim como tempos de espera entre as diversas operações (entre aplicação de componentes e camadas do revestimento) (VEIGA and PINA-SANTOS 2009 b e VEIGA and PINA-SANTOS 2006). A parede de alvenaria foi construída com uma área de 6 m<sup>2</sup>, conforme previsto no Guia (EOTA 2000).

A câmara higrotérmica foi encostada à aplicação do sistema ETICS 28 dias após a sua cura e durante aproximadamente 1 mês simulou:

- ciclos de calor-chuva – 80 ciclos (20 dias):
  - calor a 70 °C durante 3 h (Figs. 18 e 19);
  - aspersão de água com fluxo de 1 l/(m<sup>2</sup>.min) durante 1 h;
  - secagem durante 2 h;

- repouso durante pelo menos 48 h em condições de temperatura entre 10 °C e 25 °C e 50 % de HR;
- ciclos de calor-frio – 5 ciclos (5 dias):
- calor a 50 °C e no máximo 30 % HR durante 8 h;
  - frio a -20 °C durante 16 h.

Após cada conjunto de ciclos fez-se a análise da existência ou não das anomalias consideradas como graves.



Fig. 17 – Câmara higrotérmica sobre sistema aplicado sobre murete

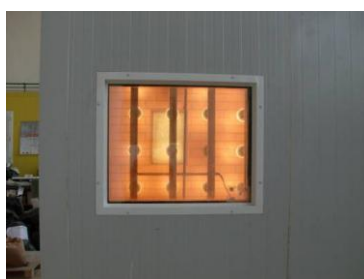


Fig. 18 – Ensaio higrotérmico em curso (ciclo de calor a 70 °C)



Fig. 19 – Pormenorização do sistema aplicado sujeito ao ensaio higrotérmico

### 3.3.4 Ensaio de resistência ao choque de 3 J, de 10 J e ensaio de perfuração

#### a) Ensaio de resistência aos choques de 3 J e de 10 J

Os ensaios de choque com corpo duro de 3 J e de 10 J foram realizados de acordo com o ETAG 004 (EOTA 2000). O aparelho “Martinet Baronie”, utilizado para efetuar o ensaio de 3 J (Figs. 20 e 21), é constituído por um braço com 0,6 m de comprimento e possuindo uma esfera de aço na sua extremidade com 0,5 kg, produzindo um impacto com energia de 3 J. Para a execução do ensaio foi necessário colocar o aparelho na posição horizontal e em seguida deixou-se tombar sobre o ETICS aplicado sobre os muretes, de uma altura de 0,61 m.

No caso do ensaio de 10 J (Fig. 22), o procedimento de ensaio foi igual ao de 3 J, apenas diferiu no comprimento do braço com aproximadamente 1 m e na massa da esfera – 1 kg, cair de uma altura de 1,02 m; neste caso o impacto imposto ao revestimento é de 10 J.

Nos ensaios de choque de 3 J e de 10 J é analisada a existência ou não de massa após o impacto das esferas de aço, a degradação provocada pelo embate que será

quantificada pelo diâmetro da moessa, e tipo de degradação resultante, por exemplo: a existência ou não de micro-fissuração, fissuração no ladrilho ou mesmo fratura do ladrilho.

No ensaio de choque sobre a zona de argamassa de juntas, as esferas de 3 J e de 10 J atingiram quase sempre o ladrilho, devido à sua espessura, o que impossibilitou a análise dos resultados do ensaio, na zona de juntas.



Fig. 20 – Ensaio de choque de 3 J

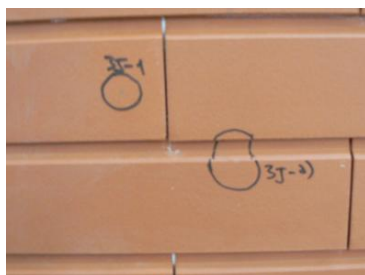


Fig. 21 – Resultados de ensaio de choque de 3 J sobre acabamento Alheta



Fig. 22 – Mossa resultante do impacto de 10 J

#### b) Ensaio de resistência à perfuração

O aparelho para execução do ensaio de perfuração é designado por "Perfotest" (Fig. 23) e permite executar perfurações com diâmetros que podem ir desde 4 mm a 20 mm.

No ensaio de perfuração inicia-se com o maior diâmetro do punção e vai diminuindo até perfurar; no final é registado o diâmetro que não perfurou o acabamento (Fig. 24).

A Fig. 25 apresenta um sistema com acabamento por pintura sujeito ao ensaio de perfuração não resistindo ao punção com diâmetro de 12 mm.



Fig. 23 – Ensaio de perfuração



Fig. 24 – Não perfurou com punção de 4 mm



Fig. 25 – Sistema após ensaio de perfuração (zona que não resistiu ao punção de 12 mm)

### 3.3.5 Ensaio de aderência

O ensaio de aderência (Fig. 28) foi adaptado a partir do previsto no ETAG 004 (EOTA 2000) para ETICS com acabamentos por pintura.

Este ensaio foi efetuado com o objetivo de analisar a aderência do acabamento cerâmico à camada de base, do revestimento (camada de base + acabamento cerâmico) ao isolante e a aderência do revestimento ao isolante após ter sofrido um impacto de 10 J (Fig. 27Fig. 27). Para tal, foi necessária a execução de incisões com profundidades diferentes com recurso a uma caroteadora elétrica, como é apresentado no Quadro 8 e na Fig. 26. Com este tipo de incisões foram efetuadas carotes quadradas, e coladas pastilhas metálicas (com o mesmo formato e dimensões) centradas sobre as zonas delimitadas pela incisão.

Quadro 8 – Ensaio de aderência e profundidade das incisões

ETICS	Tipo de aderência	Profundidade da incisão para execução das carotes Profundidade
Com acabamento por pintura	Aderência do revestimento ao isolante*	Até ao isolante (carotes circulares)
Com acabamento cerâmico	Aderência do revestimento ao isolante**	Até ao isolante (carotes quadradas)
	Aderência do acabamento cerâmico à camada de base***	Até à camada de base (carotes quadradas)

\*previsto no ETAG 004 (EOTA 2000);

\*\* adaptado para acabamento cerâmico sobre ETICS;

\*\*\* desenvolvido para acabamento cerâmico sobre ETICS.



Após o arrancamento é observado o modo de rotura da carote e registado o valor da força de rotura. Os valores da força (F) foram retirados diretamente do aparelho de arrancamento e convertidos para valores de tensão de aderência ( $\sigma$ ), através da seguinte fórmula:

$$\sigma = F/A \quad (\text{Equação 3})$$

em que F é a força de rotura, em N, A é a área da zona de incisão em mm<sup>2</sup> e o resultado da tensão de rotura  $\sigma$  é expresso em N/mm<sup>2</sup>;

#### Dificuldades na realização dos ensaios:

- efetuar a incisão com precisão até à camada de base. Casos que poderão ocorrer:
  - apanhar parte do isolante – parte do valor resultante do ensaio resultará da aderência da camada de base ao isolante e a outra parte será da camada de base ao ladrilho;
  - no caso da incisão ser efetuada incluindo a rede, o valor poderá ser menor.

#### Otimizar ensaio:

- colocar um disco para travar corte, que tenha a mesma espessura do ladrilho + produto de colagem + metade da espessura da camada de base sem incluir a rede; apesar de ser difícil, porque a aplicação tenta ser o mais homogênea possível, mas nem sempre é possível, nomeadamente quando os suportes são muito irregulares.

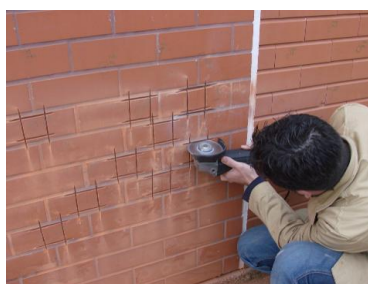


Fig. 26 – Execução das incisões



Fig. 27 – Incisão após choque de 10 J



Fig. 28 – Execução do ensaio de aderência



### 3.3.6 *Ensaio de absorção de água por capilaridade*

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi efetuado de acordo com o ETAG 004 (EOTA 2000). Consistiu na execução de provetes dos sistemas ETICS com acabamentos cerâmicos Padrão e Alheta, com dimensões de 300 mm x 300 mm (o Guia exige para acabamentos por pintura pelo menos uma área de 200 mm x 200 mm). Para cada acabamento foram analisados três provetes e foram condicionados durante 7 dias a  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  e  $(50 \pm 5) \% \text{ HR}$ .

Para a realização do ensaio a superfície do acabamento foi colocada em contacto com a água, que em obra ficará voltada para o exterior (Fig. 29).

Os provetes foram sujeitos a um conjunto de três ciclos, que envolveram as seguintes fases:

- 24 h de imersão: a superfície de cada acabamento foi imersa em água, a uma profundidade de 2 a 10 mm. A profundidade de imersão depende da rugosidade da superfície, para o caso dos acabamentos por pintura, ou da espessura dos ladrilhos, para o caso dos acabamentos cerâmicos.
- 24 h de secagem a  $(50 \pm 5) ^\circ\text{C}$ . Durante as interrupções (como os fins de semana ou feriados), os provetes foram armazenados a  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  e  $(50 \pm 5) \% \text{ HR}$  depois da secagem.

Depois dos ciclos, os provetes foram armazenados no mínimo 24 h a  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  e  $(50 \pm 5) \% \text{ HR}$ .

Os provetes foram pesados (Figs. 30 e 31) depois de 3 minutos em contacto com a água e em seguida após 1 h e 24 h; antes de cada pesagem foi removida a água em excesso à superfície do provete.

#### Dificuldades na execução do ensaio:

O excesso de água da superfície do acabamento em contacto da água foi mais difícil de remover com o acabamento Alheta, isto devido às irregularidades na zona de encaixe – zona da alheta e juntas abertas.

Verificou-se que é importante ser sempre o mesmo operador porque a intensidade com que é feita a limpeza do excesso de água antes da pesagem pode variar ligeiramente de operador para operador.

É importante que as tinas utilizadas na execução do ensaio tenham bases bastante regulares, para que a superfície submersa do provete seja uniforme.

Para ser mais fácil executar o ensaio poder-se-ia selar toda a espessura do sistema para garantir que o transporte de água se dá apenas através da superfície do acabamento.



Fig. 29 – Ensaio de absorção de água por capilaridade – fase de imersão da superfície do acabamento

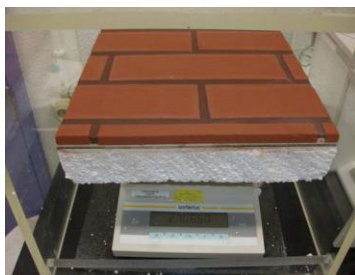


Fig. 30 – Determinação da massa após imersão do acabamento Padrão

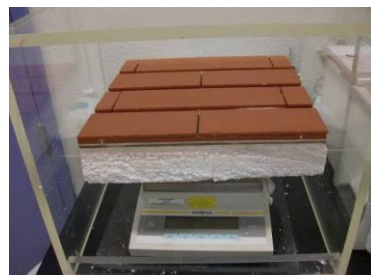


Fig. 31 – Determinação da massa após imersão do acabamento Alheta

### 3.3.7 Ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão com Tubos de Karsten

O ensaio baseia-se na técnica de ensaio descrita na Ficha de Ensaio do LNEC FE Pa 39 (LNEC 2002), apoiada na metodologia adotada pela RILEM. Consiste em medir a quantidade de água absorvida por uma determinada superfície do acabamento, após um período de tempo definido, recorrendo a um conjunto de pequenos tubos de vidro graduados e com forma de cachimbo, fixados às zonas em estudo. O ensaio foi executado para analisar o problema da estanquidade das juntas (isolando a área do ladrilho (Figs. 32 e 33)), assim como para avaliar a permeabilidade à água do ladrilho ao longo do tempo e após ciclos higrotérmicos (Fig. 34) (MALANHO and VEIGA 2011 b).

As leituras da quantidade de água absorvida pelo acabamento são efetuadas com base na redução do nível de água observado nos tubos graduados.

Em cada zona foram aplicados no mínimo três tubos. As leituras foram registadas aos 5, 10, 20, 25, 30, 60 e 120 minutos.

#### Dificuldades na execução do ensaio:

- O ensaio realizado em juntas verticais perde mais facilmente água.
- Há necessidade de existirem boas condições atmosféricas, para a sua execução.



Fig. 32 - Zona do ladrilho isolada com silicone para análise apenas da argamassa de junta



Fig. 33 - Tubos de *Karsten* aplicados na argamassa de junta



Fig. 34 - Tubos de *Karsten* aplicados na zona do ladrilho

#### *3.3.8 Ensaio de permeabilidade ao vapor de água*

Para o sistema com ladrilhos cerâmicos o procedimento de ensaio de determinação da permeabilidade ao vapor de água, segundo a norma NP EN 12086 (IPQ 1997) foi adaptado, com recurso à execução de uma “maqueta” para simular o sistema ladrilhos-argamassa de refechamento de juntas-argamassa de colagem dos ladrilhos-isolante, com o objetivo de determinar as quantidades de vapor de água que se difundem (Fig. 37).

Para analisar a influência das juntas, foram cortados provetes da “maqueta” do ETICS com dimensões aproximadas a 95 mm x 65 mm e uma área aproximada a 0,006 m<sup>2</sup> com as seguintes variáveis do acabamento cerâmico:

- sistema com acabamento Padrão: 1 – abrange só a zona do ladrilho; 2 – zona do ladrilho + junta refechada com argamassa;
- sistema com acabamento Alheta: 1 – zona do ladrilho; 2 – zona de encaixe entre dois ladrilhos – zona da “alheta”

Estes resultados foram ainda comparados com o mesmo ETICS sem acabamento (isolante + camada de base reforçada) e com aplicação de outros acabamentos. Através de uma craveira foi medida a espessura de cada provete em 4 pontos. Os provetes foram

selados com uma mistura de cera e de pez-louro (Fig. 36) a um recipiente de plástico (Fig. 35), para formar um conjunto estanque.

Foi utilizado o método da cápsula seca, que implica o uso de um dessecante (produto que absorve vapor de água) no interior da cápsula, com o intuito de provocar um fluxo de vapor de fora para dentro da cápsula. Os recipientes tinham sido previamente preenchidos com uma substância condicionadora de  $\text{CaCl}_2$  (cloreto de cálcio) (Fig. 35), que confere uma humidade relativa de 0 a 3 %. Os provetes foram condicionados numa câmara climática a uma temperatura (T) de  $23\text{ }^\circ\text{C} \pm 2$  e uma humidade relativa (HR) de  $50\% \pm 5$ . O conjunto recipiente + substância condicionadora + provete foram pesados diariamente durante aproximadamente 2 semanas, com intervalos de 24 horas, verificando-se que a variação da sua massa por unidade de tempo fica praticamente constante, pelo menos durante a segunda semana. Este ensaio permitiu obter diversos parâmetros, tais como:

- Coeficiente de transmissão do vapor de água (g): quantidade de vapor de água transmitida através da unidade de superfície, durante a unidade de tempo, em condições definidas de temperatura, humidade e espessura:

$$g = \frac{G}{A} \quad (\text{Equação 4})$$

- Permeabilidade ao vapor de água ( $\delta$ ):

$$\delta = W \times d = \left[ \frac{g}{A \times \Delta p} \right] \quad (\text{Equação 5})$$

sendo G: Coeficiente de transmissão do vapor de água, d: a espessura do provete em metros, A: a área exposta (média aritmética das áreas superior e inferior) do provete, em metros quadrados;  $\Delta p$ : a diferença de pressão de vapor de água entre as duas faces do provete, em Pa.

- Fator de resistência à difusão do vapor de água ( $\mu$ ):

$$\mu = \left[ \frac{\delta_{ar}}{\delta} \right] \quad (\text{Equação 6})$$

sendo  $\delta_{ar}$ : permeabilidade do ar ao vapor de água (dependendo da pressão atmosférica média durante o ensaio).

- Espessura de ar equivalente à resistência à difusão do vapor de água ( $S_d$ ):

$$S_d = \mu \times d \quad (\text{Equação 7})$$



Fig. 35 – Provetes e recipientes de plásticos com a substância condicionadora



Fig. 36 – Preparação dos provetes



Fig. 37 – Ensaio de permeabilidade ao vapor de água

### 3.3.9 *Ensaio para determinação do módulo de elasticidade com recurso a ultrassons*

O ensaio foi efetuado com recurso ao aparelho Steinkamp Ultrasonic tester BP-7, segundo a Ficha de Ensaio do FE Pa 43 LNEC (LNEC 2010), baseada na norma NBR 8802/94 (ABNT 1994). É um ensaio não destrutivo que permite determinar a velocidade de propagação de ondas longitudinais, obtidas por impulsos ultrassónicos e, a partir desse valor, estimar o módulo de elasticidade dinâmico do material ensaiado, com o objetivo de verificar a sua homogeneidade e detetar alterações nas suas características, como descontinuidades internas, fissuras e outras deficiências (Figs. 38 e 39).

O aparelho é constituído por dois transdutores (emissor e recetor) (Fig. 38 – 2 e 3); o transdutor-emissor possibilita a transformação do impulso elétrico em onda de choque e o transdutor-recetor executa a transformação da onda de choque em impulso elétrico; um módulo central com mostrador digital que procede à leitura e registo do tempo ( $\mu s$ ) (Fig. 38 – 1) decorrido desde a emissão da onda até à sua receção; os cabos coaxiais permitem a conexão dos transdutores ao módulo central.

Estas ondas (vibrações ou distúrbios) propagam-se ao longo do material e são do tipo longitudinais, em que as partículas que o constituem têm um modo de vibração com deslocamento na mesma direção da propagação do distúrbio. A frequência de vibração destas ondas é de 50 Hz.

Para a execução do ensaio marcaram-se dez intervalos de igual dimensão com pontos distribuídos em linha reta, com 20 mm entre si (distância máxima referida na ficha de ensaio (LNEC 2010) devido às dimensões consideráveis dos provetes selecionados para

ensaio). O transdutor-emissor foi fixado num determinado ponto de origem (ponto 0) e o transdutor-recetor foi posicionado sucessivamente a cada 20 mm; em cada ponto foram efetuadas três leituras. Os dois transdutores foram posicionados na mesma face do provete, técnica esta designada por transmissão indireta. No caso de transmissão direta, as duas sondas estariam em faces opostas do provete, mas essa técnica não é viável em revestimentos aplicados.

Verifica-se que o módulo de elasticidade dinâmico estimado por este método difere do determinado pela frequência de ressonância, possivelmente devido ao erro associado ao valor do coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) das argamassas, que entra nos cálculos com o valor de 0,2; para o caso dos ladrilhos cerâmicos foi também admitido este valor. No entanto os valores são válidos em termos comparativos para os mesmos materiais. Os valores da velocidade de ultrassons,  $e$ , em consequência, os valores dos módulos de elasticidade assim determinados, são naturalmente afetados por heterogeneidades, descontinuidades internas, fissuras e outras deficiências.

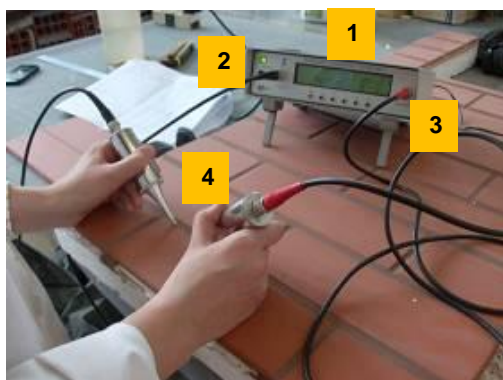


Fig. 38 – Ensaio de ultrassons



Fig. 39 – Realização do ensaio de ultrassons sobre revestimento aplicado sobre murete

Legenda das Fig. 38 e Fig. 39:

1 – módulo central do aparelho, com mostrador digital; 2 – transdutor-emissor; 3 – transdutor-recetor; 4 – sondas.

Após a calibração do aparelho, o transdutor-emissor é fixado no ponto de origem e o transdutor-recetor percorre os pontos marcados; no mostrador digital do aparelho é lido diretamente o tempo ( $\mu s$ ) de percurso da onda ultrassónica entre as duas sondas.

Para o cálculo do módulo de elasticidade utilizaram-se as seguintes fórmulas:

$$E = K. v^2 \quad (\text{Equação 8}) \quad \text{em que } E - \text{Módulo de elasticidade (MPa)}$$

K – constante que depende do Coeficiente de Poisson

v – velocidade de propagação das ondas transmitidas (m.s<sup>-1</sup>)

$$K = \frac{[(1 + \nu).(1 - 2\nu)]}{1 + \nu} \quad (\text{Equação 9})$$

em que  $\nu$  – coeficiente de Poisson (valor atribuído 0,2)

$$V = \frac{L}{T} \quad (\text{Equação 10})$$

em que L – distância percorrida entre as duas sondas (m)

T – tempo de percurso da onda ultrasónica entre as duas sondas (s)

Observações sobre o ensaio: em geral, as amostras possuíam superfícies planas e lisas, o que facilitou a execução do ensaio.

### 3.3.10 Aumento da massa por m<sup>2</sup> do sistema e influência na resistência de aderência à cola

Foram determinadas as massas por m<sup>2</sup> dos ETICS em estudo com diferentes tipos de acabamento, para verificar se a massa dos ladrilhos aplicados contribui significativamente para o aumento de massa total do sistema ETICS, através do cálculo da massa do sistema antes e após a aplicação dos ladrilhos.

### **3.4 Critérios para análise dos resultados**

#### **3.4.1 Generalidades**

As exigências previstas no Guia dos ETICS (EOTA 2000) para acabamentos por pintura foram adaptadas para os acabamentos de ladrilhos cerâmicos, e em alguns casos foram adaptadas exigências estabelecidas para outros tipos de revestimentos.

#### **3.4.2 Ensaio de envelhecimento natural (estado novo, com 1 ano de idade e 2 anos de idade)**

O ETAG 004 (EOTA 2000) não exige uma análise e comparação do ETICS com diferentes idades; desta forma, os critérios utilizados para análise do envelhecimento natural ao longo do tempo basearam-se na detecção da presença de anomalias nos sistemas com acabamento cerâmico no estado novo, com 1 ano e 2 anos de idade, como é o caso de:

- empolamentos do sistema;
- destacamentos do sistema ao suporte;
- perda de aderência dos ladrilhos;
- destacamentos dos ladrilhos;
- fissuração dos ladrilhos;
- fissuração da argamassa de refechamento de juntas;
- alteração volumétrica dos ladrilhos com dilatações térmicas.

Outras anomalias de carácter estético, que possam surgir são:

- escorrimentos provindos da argamassa de juntas;
- alteração da cor dos ladrilhos.

As três idades – estado novo, após 1 ano e após 2 anos de idade de aplicação foram comparadas entre si, para permitir analisar a evolução do comportamento nos primeiros anos.



### 3.4.3 Ensaio de envelhecimento artificial

O Guia ETAG 004 (EOTA 2000) exige que os ETICS com acabamentos por pintura sejam sujeitos a um ensaio de ciclos higrotérmicos, efetuado 28 dias após a sua secagem, com ciclos de calor-chuva e calor-frio, simulando um envelhecimento artificial. Segundo este Guia, os ETICS com acabamento por pintura apresentam um comportamento satisfatório quando após este ensaio não se observam empolamentos (Fig. 41) ou perda de aderência. Estas anomalias foram adaptadas às características dos acabamentos cerâmicos.

Quadro 9 – Adaptação das exigências após ciclos higrotérmicos para acabamentos aplicados sobre ETICS

Anomalias que o ETICS não deverá apresentar após ciclos higrotérmicos	
De acordo com o ETAG 004 (EOTA 2000) - acabamentos por pintura	Adaptação das exigências para acabamentos cerâmicos aplicados sobre ETICS
Empolamentos (Fig. 41)	Arqueamento ou empolamentos dos ladrilhos (LUCAS e ABREU 2005)
Fissuração (Figs. 40 e 42)	Fissuração dos ladrilhos ou da argamassa de junta
Perda de aderência	Perda de aderência dos ladrilhos
Destacamentos	Destacamentos dos ladrilhos e do sistema ao suporte
—	Alteração volumétrica dos ladrilhos
	Escorrimentos*
	Alteração da cor dos ladrilhos*

\*Anomalias estéticas de baixa gravidade

Se o ETICS apresentar alguma das anomalias referidas no Quadro 9, à exceção de escorrimentos e alteração da cor dos ladrilhos, é considerado como não apto ao uso. Neste caso, teria que se proceder à análise da causa do problema e reformular a constituição do ETICS (VEIGA and PINA-SANTOS 2009 b), por exemplo através da introdução de elementos de reforço, diminuição das dimensões do ladrilho utilizado ou escolha de cores claras para ladrilhos.

O Guia dos ETICS refere que quando surgem fissuras nos acabamentos por pintura, deverão ser removidas carotes para observar qualquer penetração de água no ETICS. Quando se verificam apenas fissuras superficiais, o comportamento global pode não ser afetado.



Fig. 40 – Presença de fissuração próximo da janela em ETICS com acabamento por pintura sujeito a ciclos higrorotéricos



Fig. 41 – Presença de fissuração e empolamento próximo da janela em ETICS com acabamento por pintura sujeito a ciclos higrorotéricos



Fig. 42 – Fissuração na junta de dilatação em ETICS com acabamento por pintura sujeito a ciclos higrorotéricos

#### 3.4.4 Ensaio de resistência ao choque de 3 J, de 10 J e ensaio de perfuração

Para ETICS com acabamentos por pintura, os critérios previstos no ETAG 004 (EOTA 2000) permitem classificar os ETICS em três categorias – I, II, ou III – através da combinação dos ensaios de choque de 3 J, de 10 J e ensaio de perfuração (Quadro 10). A categoria atribuída ao sistema corresponderá a diferentes zonas e condições de exposição aos choques da fachada (Quadro 10) (VEIGA and PINA-SANTOS 2009 a e VEIGA and MALANHO 2010 a).

Quadro 10 – Classificação dos ETICS com acabamento por pintura de acordo com a combinação dos resultados dos ensaios de choque e perfuração e possíveis zonas de aplicação nas fachadas dos edifícios (adaptado de EOTA 2000)

Classificação	Combinação dos resultados dos ensaios de choque de 3 J, choque de 10 J e perfuração	Zonas da fachada onde poderão ser aplicados de acordo com a categoria correspondente
Categoria I (Figs. 44 e 45)	sem deterioração após choque de esfera de 3 J e de 10 J e sem perfuração com punção de 6 mm	zonas muito acessíveis ao público e como tal sujeitas a choques
Categoria II	sem penetração com choque de esfera de 10 J, sem fendilhação com choque de 3 J e sem perfuração com punção de 12 mm	zonas de acesso limitado ou zonas públicas acima de 2 m do solo
Categoria III (Fig. 43)	sem penetração com choque de 3 J e sem perfuração com punção de 20 mm	zonas pouco expostas a choques, por ex.: zonas acima de 2 m do solo de edifícios com acesso reservado.

Das três categorias a I será a mais favorável, uma vez que pode ser aplicada em zonas muito acessíveis ao público e sujeitas a choques, porém é a mais difícil de ser atingida em ETICS com acabamento por pintura.

No caso do sistema ser penetrado após o ensaio de choque de 3 J, ou perfurado com punção de 20 mm, o ETICS será considerado como não satisfatório, a este sistema não pode ser atribuída nenhuma categoria, ou seja, não tem as condições mínimas admissíveis de resistência ao choque para ser aplicado em fachadas.



Fig. 43 – Sistema após ensaio de choque de esfera de 10 J (com fendilhação do revestimento e penetração no isolante)



Fig. 44 – Mossa resultante do choque de 3 J sobre acabamento Padrão sobre ETICS



Fig. 45 – Resultado obtido no ensaio de perfuração sobre acabamento Padrão

### 3.4.5 Ensaio de aderência

A rotura após a execução do ensaio de aderência em ETICS com acabamento de ladrilhos cerâmicos pode ocorrer no seio de cada componente (rotura coesiva) (Figs. 47, 49 e 50) ou nos planos de ligação entre os diversos componentes (rotura adesiva – que poderá indiciar uma baixa compatibilidade entre os dois componentes) (Fig. 51). A rotura pode também resultar de uma combinação de roturas no seio de vários componentes; por vezes este fenómeno acontece quando a incisão (que contorna a pastilha) não foi efetuada toda à mesma profundidade (Fig. 48).

Apresentam-se para comparação, as exigências previstas no ETAG 004 (EOTA 2000) para ETICS com acabamentos por pintura (Fig. 46). No caso dos ETICS com acabamento cerâmico têm que ser definidas exigências superiores devido ao maior peso e risco envolvido (Quadros 11 e 12).

Quadro 11 – Critérios de apreciação do ensaio de aderência do revestimento (acabamento cerâmico + camada de base) ao isolante

Aderência da camada de base ao isolante (incisão da carote até ao isolante)	Classificações		
	Satisfatório	Não satisfatório	Problemas associados
ETICS com acabamento de ladrilhos cerâmicos	Rotura coesiva no isolante (definido no ETAG 004 (EOTA 2000) e Tensão de aderência $\geq 0,15 \text{ N/mm}^2$ (limitação da massa do ladrilho)	Rotura adesiva entre o ladrilho e a cola; a cola e a camada de base; a camada de base e o isolante e Tensão de aderência $< 0,15 \text{ N/mm}^2$	Destacamento do revestimento ao isolante
ETICS com acabamento por pintura	Rotura coesiva no isolante (Fig. 46) (definido no ETAG 004 (EOTA 2000) ou Tensão de aderência $\geq 0,08 \text{ N/mm}^2$	Rotura adesiva ou rotura coesiva pelo revestimento e Tensão de aderência $< 0,08 \text{ N/mm}^2$	

Quadro 12 – Critérios de apreciação do ensaio de aderência do acabamento cerâmico (ladrilho + argamassa de refechamento de junta + produto de colagem dos ladrilhos)

Aderência do ladrilho à camada de base (incisão da carote até à camada de base)	Classificações		
	Satisfatório	Não satisfatório	Problemas associados
ETICS com acabamento de ladrilhos cerâmicos	Rotura coesiva na camada de base Tensão de aderência $\geq 0,20 \text{ N/mm}^2$ (limitação da massa do ladrilho)	Rotura adesiva entre a camada de base e o isolante ou Rotura adesiva entre o ladrilho e o produto de colagem	→ Destacamento do revestimento ao isolante → Destacamento de ladrilhos
ETICS com acabamento por pintura	Não está previsto no ETAG 004 (EOTA 2000)		



Fig. 46 – Rotura coesiva no isolante em ETICS com acabamento por pintura



Fig. 47 – Rotura coesiva no isolante em ETICS com acabamento cerâmico



Fig. 48 – Rotura coesiva no isolante e na camada de base



Fig. 49 – Rotura coesiva no isolante, devido à incisão envolver a rede



Fig. 50 – Rotura coesiva na camada de base



Fig. 51 – Rotura adesiva entre camada de base e isolante

### 3.4.6 Ensaio de absorção de água por capilaridade

Os valores foram analisados segundo os critérios definidos para os acabamentos por pintura; o sistema só é considerado satisfatório se a água absorvida pelo sistema sem acabamento (a superfície em contacto com a água é a camada de base) ou a água absorvida por cada acabamento for após 1 h  $\leq 1 \text{ kg/m}^2$  (Quadro 13).

Através dos resultados obtidos no ensaio de capilaridade é possível classificar o sistema quanto ao comportamento gelo-degelo (Quadro 13).

Estes critérios mantêm-se válidos para os ETICS com acabamento cerâmico.

Quadro 13 – Critérios para análise dos resultados de absorção de água e análise do comportamento ao gelo

Ensaio	Classificação	Critérios definido para ETICS com acabamento por pintura (EOTA 2000) a manter para ETICS com acabamento cerâmico
Ensaio de Absorção de água por capilaridade	Satisfatória	Se a água absorvida pelo sistema sem acabamento após 1 h $\geq 1 \text{ kg/m}^2$ , a água absorvida pelo sistema com cada acabamento após 1 h $< 1 \text{ kg/m}^2$ .
Comportamento ao gelo-degelo		Se a absorção de água da camada de base e do sistema for inferior a $0,5 \text{ kg/m}^2$ , então o sistema é considerado resistente ao gelo-degelo sem necessidade de outras verificações.

#### 3.4.7 Permeabilidade à água sob baixa pressão com recurso a tubos de *Karsten*

Em estudos anteriores (MALANHO and VEIGA 2011 b) a um ETICS com acabamento cerâmico semelhante, verificou-se que a argamassa de refechamento das juntas entre ladrilhos absorveu valores muito baixos de água até aos 60 minutos nos três tubos de *Karsten*. Assim definiu-se uma absorção de água  $\leq 0,5 \text{ cm}^3$  para a zona de junta de argamassa e para a zona do ladrilho, podendo exceder o valor até 20 %.

#### 3.4.8 Ensaio de permeabilidade ao vapor de água

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água também foi efetuado (MALANHO and VEIGA 2011 b) num ETICS com acabamento de ladrilhos cerâmicos semelhante ao sistema com acabamento Padrão; os resultados permitiram comprovar que o valor da permeabilidade ao vapor de água ( $\delta$ ) é menor nos provetes sem juntas entre ladrilhos; daí a importância da execução de juntas neste tipo de sistemas, para evitar a possível ocorrência de condensações. De acordo com o ETAG 004 (EOTA 2000), a permeabilidade ao vapor de água é avaliada pela espessura da camada de ar de difusão equivalente ( $S_d$ ); a exigência definida no ETAG é de que esta característica deve ter valor inferior a 2 m para o sistema de revestimento (não incluindo o isolante) (Quadro 14). Esta exigência deve ser mantida para os sistemas com ladrilhos cerâmicos.

Quadro 14 – Critérios para análise dos resultados de permeabilidade ao vapor de água

Ensaio	Classificação	Critérios definido para ETICS com acabamento por pintura (EOTA 2000) a manter para ETICS com acabamento cerâmico
Ensaio de Permeabilidade ao vapor de água	satisfatória	Resistência à difusão do vapor de água (espessura da camada de ar de difusão equivalente) do sistema de revestimento (camada de base + acabamento) $\leq 2,0$ m

#### 3.4.9 Ensaio para determinação do módulo de elasticidade com recurso a ultrassons

O ensaio com ultrassons foi selecionado para analisar a possibilidade de existência de micro-fissuração na zona de argamassa de junta entre os ladrilhos aplicados sobre o sistema de ETICS.

Torna-se necessário: prever o comportamento da argamassa de junta ao longo do tempo e para tal foram efetuados ensaios sobre sistemas com diferentes idades - novo (interior e exterior), após 2 anos - envelhecimento natural, e os mesmos valores foram comparados com sistemas sujeitos a um envelhecimento artificial com recurso a ciclos higrotérmicos – ensaio previsto no Guia ETAG 004 (EOTA 2000) para ETICS com acabamento por pintura; analisar se após ciclos higrotérmicos determinadas zonas da fachada, correspondentes a zonas mais “frágeis”, são mais suscetíveis a fissuração; distinguir o comportamento da argamassa de junta em aplicações do sistema sobre parede de alvenaria e em provetes do sistema.

Os valores obtidos no ensaio com utilização de ultrassons permitem obter a velocidade das ondas ultrassónicas e o módulo de elasticidade do material. A variação de valores da velocidade de propagação das ondas indica alterações nas características desses materiais; consideram-se que os valores não deverão variar mais de 20 % a 25 %. Estas ondas conseguem atingir maiores velocidades e valores superiores em materiais mais compactos.

#### 3.4.10 Aumento da massa por $m^2$ do sistema e influência na resistência de aderência à cola

Para determinar este aumento analisou-se a diferença de massas por  $m^2$  entre o mesmo sistema com pintura e com ladrilhos. A partir desse aumento, calculou-se a tensão de corte introduzida. Estabeleceram-se propostas de limites para a massa por  $m^2$  de ladrilhos e para uma espessura dos mesmos.

### **3.5 Apresentação e análise dos resultados**

#### **3.5.1 *Ensaio de envelhecimento natural (estado novo, com 1 ano de idade e 2 anos de idade)***

Durante uma observação visual pôde-se constatar que as aplicações em ambiente natural exterior do ETICS com o acabamento Padrão não apresentaram anomalias quando analisados aos 28 dias, 1 ano e 2 anos após a sua aplicação sobre muretes de alvenaria de tijolo, nem com acabamento Beje e Cinza, analisados com 2 anos; a exceção foi a existência de fissuração na argamassa de junta do acabamento com ladrilhos pretos com 2 anos de idade. O ETICS com acabamento Alheta analisado com 28 dias também não apresentou anomalias.

Com 2 anos de idade, o sistema Padrão mesmo variando outro tipo de parâmetros — localização da aplicação das cavilhas (após a aplicação da rede), orientação da aplicação do ETICS sobre as paredes de alvenaria, comparação do sistema de acabamento cerâmico aplicado sobre ETICS e aplicado apenas sobre reboco, não apresentou quaisquer anomalias.

#### **3.5.2 *Ensaio de envelhecimento artificial***

A execução do ensaio higrotérmico permitiu analisar o comportamento dos sistemas com os acabamentos Padrão e Alheta face a variações climáticas em períodos de calor-chuva e calor-frio, durante aproximadamente um mês (Figs. 52 e 53).

Após os ciclos calor-chuva e frio-calor, as duas variantes de acabamentos - Padrão e Alheta visualmente não apresentaram sinais de degradação, nomeadamente dos seguintes tipos: arqueamento ou empolamentos, fissuração, perda de aderência, destacamentos (LUCAS and ABREU 2005), alteração volumétrica de ladrilhos, ou alteração da cor da argamassa das juntas e de ladrilhos, escorrimentos da argamassa de juntas para os ladrilhos, fissuração da argamassa de juntas e destacamento do sistema ao suporte; desta forma as duas variantes de acabamentos - Padrão e Alheta apresentaram comportamento satisfatório em relação a estes aspetos.



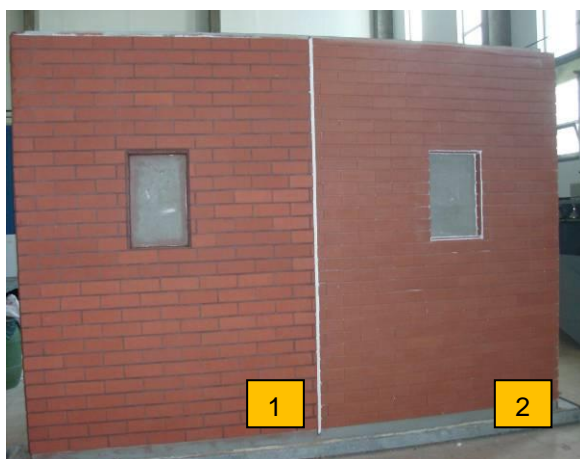


Fig. 52 – Aspeto geral do ETICS antes dos ciclos higrotérmicos

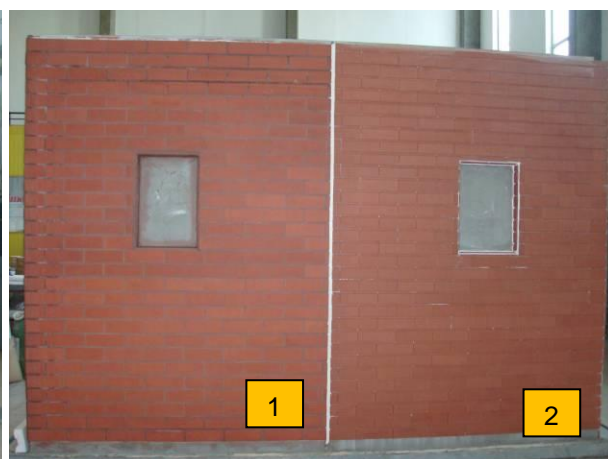


Fig. 53 – Aspeto geral do ETICS após ciclos higrotérmicos

Legenda das Fig. 52 e Fig. 53:

- 1 – Acabamento Padrão;
- 2 – Acabamento Alheta.

### 3.5.3 Ensaio de resistência ao choque de 3 J, de 10 J e ensaio de perfuração

Os ensaios de choque de 3 J e de 10 J realizados sobre ETICS com acabamento Padrão permitiram analisar a deformabilidade do acabamento. Os resultados dos ensaios são apresentados no Quadro 15.

Pode considerar-se que o impacto com as esferas de 3 J e de 10 J sobre a superfície do acabamento Padrão aplicado sobre ETICS não provocaram mossas, mas sim ligeiras mossas, uma vez que a degradação provocada foi praticamente insignificante.

Desta forma pode considerar-se que até 2 anos de idade o ETICS com acabamento Padrão é resistente aos choques, devido aos valores reduzidos dessas mossas resultantes do impacto de 3 J e de 10 J, compreendidas entre 0 e 6 mm. As mesmas são reduzidas, não se observando fissuração. As mossas, em geral, são mais reduzidas do que nos acabamentos por pintura (VEIGA and MALANHO 2010 a).

Para este tipo de acabamento utilizou-se no ensaio de perfuração um punção de diâmetro (4 mm) inferior ao estabelecido nas exigências para ETICS com acabamento por pintura, porque o diâmetro de 6 mm não perfurava este tipo de acabamento.

O ETICS com acabamento Padrão sujeito a ciclos higrotérmicos, não apresentou moessa provocada pelo impacto com esfera de 3 J e não foi perfurado com punção de diâmetro de 4 mm. De acordo com o Quadro 15, o sistema com acabamento Alheta manteve idênticas características de resistência ao choque.

Os resultados mostram que os diâmetros das moessas obtidas após choque no acabamento Padrão aplicado diretamente sobre suporte rebocado são superiores aos valores obtidos no ensaio de choque no mesmo acabamento aplicado sobre ETICS, embora sempre mais baixos do que os valores obtidos em acabamentos por pintura (VEIGA and MALANHO 2010 a). Estes resultados realçam a elevada rigidez ou baixa deformabilidade do sistema ladrilho+produto de colagem+reboco.

A combinação dos resultados entre os ensaios de choque e perfuração permitiu integrar o acabamento Padrão aplicado sobre ETICS em todas as variáveis estudadas na categoria I, visto que este acabamento não apresentou deterioração após choque de esfera de 3 J e de 10 J, nem perfuração com punção de 6 mm. Esta categoria permite a sua aplicação em zonas muito acessíveis ao público e como tal sujeitas a choques.

Segundo LNEC (2011), o sistema em estudo mas com acabamento por pintura e sem acabamento obteve a categoria II, ou seja, o sistema não foi penetrado com choque de 10 J, não houve fendilhação com choque de 3 J e não perfurou com punção de 12 mm; assim este sistema deverá ser aplicado em zonas de acesso limitado ou em zonas públicas acima de 2 m do solo.

Quadro 15 – Resistência ao choque e perfuração

Variação de parâmetros em relação ao sistema-tipo				Ensaio de choque de esfera - Ø <sub>moessa</sub> (mm)						Ensaio de perfuração – Ø não perfurado (mm)	Categoria (I, II ou III)
				Impacto de 3 J			Impacto de 10 J				
				Valores	$\bar{x}$	σ	Valores	$\bar{x}$	σ		
Características sistema-tipo: <b>acabamento Padrão</b> – ensaio efetuado em sistema com 28 dias (estado novo); – realizado numa zona corrente da fachada; – fachada orientada a sul; – sistema aplicado sobre murete; – localizado em ambiente exterior; – com cavilhas aplicadas sobre o isolante; – aplicação do sistema sobre suporte não rebocado.				2	1	1	6	5	2	Não foi perfurado com Ø de 4	I
				0			3				
				6*			5				
				Tipo de envelhecimento		Natural	2 anos	3	2		
3	5										
0	5										
Artificial	28 dias em câmara higrotérmica	0	0			0	-	-	-		
		6*									
		0									
Tipo de acabamento	Alheta	Natural	28 dias (exterior)	3	3	1	6	5	1		
				3			5				
				4			5				
		Artificial	28 dias em câmara higrotérmica	-	-	-	2	4	2		
				5							
				4							
Acabamento Padrão aplicado diretamente sobre suporte rebocado			2 anos	5	6	1	9	10	1		
				6			10				
				6			11				

\*Próximo da junta - o valor não foi considerado no cálculo da média e do desvio padrão.

### 3.5.4 Ensaio de aderência

#### a) Aderência do revestimento ao isolante

Os resultados do ensaio de aderência com corte até ao isolante são apresentados no Quadro 16. Verificou-se que os valores até dois anos de idade do acabamento Padrão aplicado sobre ETICS variaram aproximadamente entre 0,20 a 0,25 N/mm<sup>2</sup>. O sistema com 2 anos de idade apresentou um valor médio de 0,17 N/mm<sup>2</sup>, com uma aparente tendência de redução. Os restantes valores são bastante elevados quando comparados com os resultados obtidos em estudos anteriores com ETICS com acabamentos por pintura (VEIGA and MALANHO 2010 a). Assim, em relação às exigências previstas no

ETAG 004 (EOTA 2000), os valores são muito superiores ao valor mínimo exigido  $0,08 \text{ N/mm}^2$  e a tipologia de rotura obtida – coesiva no isolante, também foi a mais favorável.

No referido quadro também é comparado o ETICS com acabamento Padrão submetido ao envelhecimento artificial que aponta aparentemente uma tendência para diminuição em relação ao estado novo e após 1 ano de idade. O sistema com acabamento Alheta também foi analisado após ciclos higrotérmicos e verificou-se que a média dos valores é semelhante ao acabamento Padrão.

O Quadro 16 apresenta duas zonas distintas do sistema Padrão: zona “corrente da fachada” que tem incorporada uma rede normal e uma zona que para além da rede normal, possui uma outra rede que foi colocada na diagonal para reforço da janela e que se designou por zona “próxima da janela”. Os resultados permitem verificar que quando o corte é efetuado até ao isolante a colocação de uma rede de reforço não influencia a aderência do revestimento ao isolante. A alteração do tipo de ladrilho após 2 anos de idade não influenciou a aderência do revestimento ao isolante.

Os resultados apresentados indicam que o ETICS com acabamento Padrão após o impacto de 10 J diminuiu a média dos valores da tensão de aderência da camada de base ao isolante, de  $0,21$  para  $0,17 \text{ N/mm}^2$  no estado novo e de  $0,19$  para  $0,14 \text{ N/mm}^2$  no sistema após ciclos higrotérmicos. No caso do acabamento Alheta os valores obtidos de resistência antes e após choque são muito semelhantes. Numa das carotes, quando foi efetuado o arrancamento, o ladrilho encontrava-se fraturado; o que poderá indiciar que o choque após 10 J pode não provocar uma moessa visível na superfície do acabamento, mas internamente pode fraturar o ladrilho.

A localização das cavilhas plásticas após a aplicação da rede não variou os resultados da aderência da camada de base ao isolante. O ETICS com acabamento Padrão aplicado sobre suporte rebocado não melhorou a aderência da camada de base ao isolante, de novo foi condicionante a resistência do isolante. Apesar de não ser diretamente comparável porque as incisões foram efetuadas em componentes diferentes, contudo, tentou-se analisar o comportamento do acabamento Padrão sobre ETICS e o mesmo acabamento aplicado sobre reboco, em que no primeiro caso o corte foi efetuado até ao isolante e no segundo caso até ao reboco; como a tipologia de rotura no ETICS foi coesiva pelo isolante, o fator condicionante foi a resistência do isolante.

Quadro 16 – Aderência do revestimento ao isolante

Variação de parâmetros em relação ao sistema-tipo				Tensão de arrancamento (N/mm <sup>2</sup> )			Tipologia de rotura		
				Valores	$\bar{x}$	$\sigma$			
<b>Características sistema-tipo: acabamento Padrão</b> ensaio efetuado em sistema com 28 dias (estado novo); <ul style="list-style-type: none"><li>– realizado numa zona corrente da fachada;</li><li>– fachada orientada a sul;</li><li>– sistema aplicado sobre murete;</li><li>– localizado em ambiente exterior;</li><li>– com cavilhas aplicadas sobre o isolante;</li><li>– aplicação do sistema sobre suporte não rebocado.</li></ul>				0,24	<b>0,21</b>	0,02	coesiva no isolante		
				0,20					
				0,20					
Tipo de envelhecimento	Padrão	Natural	1 ano	0,22	<b>0,24</b>	0,02	coesiva no isolante		
				0,25					
			2 anos	0,12	<b>0,17</b>	0,07			
				0,22					
		Artificial	28 dias em câmara higrotérmica	0,16	<b>0,19</b>	0,04	coesiva no isolante		
				0,23*					
				0,18					
Tipo de acabamento	Beje	Natural	2 anos	0,14	<b>0,17</b>	0,04	coesiva no isolante		
				0,20					
				0,15	<b>0,16</b>	0,01			
				0,17					
	0,08**			<b>0,20</b>	0,00				
	0,20								
	Alheta			Artificial	28 dias em câmara higrotérmica	0,21		<b>0,17</b>	0,05
						0,11			
			0,18						
	Localização da fachada ensaiada - zona próxima da janela (zona reforçada)	Padrão	Artificial	28 dias em câmara higrotérmica	0,17	<b>0,18</b>		0,02	coesiva na camada de base
0,20					coesiva 60% na camada de base + 40% no isolante				
0,18					coesiva no isolante				
Alheta		0,24			<b>0,18</b>	0,07	coesiva no isolante		
		0,21							
		0,20							
Sistema sujeito a impacto após 10 J	Padrão	Natural	28 dias	0,14	<b>0,17</b>	0,03	coesiva no isolante e ladrilho		
				0,20			coesiva no isolante		
				0,17					
		Artificial	28 dias em câmara higrotérmica	0,11	<b>0,14</b>	0,03	coesiva no isolante		
				0,17			coesiva 60% camada de base e 40% no isolante		
				0,14			coesiva no Isolante***		
	Alheta	Artificial	28 dias em câmara higrotérmica	0,24	<b>0,18</b>	0,07	coesiva no isolante		
				0,11					
				0,20					
Localização das cavilhas plásticas - após aplicação da rede na camada de base		Natural	2 anos	0,19	<b>0,19</b>	0,00	coesiva no isolante		
				0,19					
Características do suporte - rebocado		Natural	2 anos	0,20	<b>0,18</b>	0,04	coesiva no isolante		
				0,15					
Acabamento Padrão aplicado diretamente sobre suporte rebocado		Natural	2 anos	0,42	<b>0,52</b>	0,07	coesiva no reboco		
				0,34					

\*zona de ligação entre placas; \*\*valor não considerado no cálculo da média por ser inferior a 20 % do valor médio;

\*\*\*ladrilho fissurado.

### Aderência do acabamento cerâmico à camada de base

A aderência do acabamento cerâmico à camada de base foi avaliada através do arrancamento das pastilhas metálicas coladas sobre incisões efetuadas com uma profundidade até ao seio da camada de base, tentando não atingir a rede. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 17.

Após o ensaio verificou-se uma tendência para diminuição da aderência ao longo do tempo no sistema com acabamento Padrão. No entanto, a tipologia de rotura, obtida após 2 anos considerou-se 50 % coesiva no isolante e 50 % na camada de base, o valor da tensão de arrancamento será influenciado pela resistência ao isolante.

O sistema com acabamento Padrão apresentou um valor médio de aderência mais baixo após ciclos higrotérmicos, quando comparado com o ETICS no estado novo, em contrapartida são mais elevados do que o sistema após 1 e 2 anos.

Analisando individualmente os valores de tensão de arrancamento no acabamento de Alheta, verificou-se que 0,20 e 0,24 N/mm<sup>2</sup> coincidem com as incisões que envolveram o corte da rede.

Com o corte até à camada de base verificou-se que os valores de tensão de aderência são mais elevados na zona próxima da janela, sendo esta uma zona reforçada.

Os valores do ensaio de aderência efetuado a sistemas com diferentes cores de ladrilhos aplicados são muito semelhantes entre si; destaca-se apenas um valor no acabamento Preto de 0,30 N/mm<sup>2</sup>, bastante elevado em relação aos restantes.

Perante os resultados apresentados verifica-se que a aplicação das cavilhas plásticas (ancoragem) sobre as placas de isolante térmico ou após a aplicação da rede não alteram a tensão de arrancamento.

A aplicação do ETICS sobre o suporte rebocado não influenciou a aderência do acabamento cerâmico à camada de base.

Para analisar o comportamento à aderência do acabamento cerâmico aplicado em diferentes suportes – ETICS e reboco após 2 anos – efetuaram-se cortes até à camada de base no primeiro caso e até ao reboco no segundo caso. Como era esperado, os valores obtidos no acabamento aplicado sobre reboco verifica-se que apresentaram valores mais elevados do que o acabamento aplicado sobre o ETICS.

.Quadro 17 – Aderência do acabamento cerâmico à camada de base

Variação de parâmetros em relação ao sistema-tipo				Tensão de arrancamento (N/mm <sup>2</sup> )			Tipologia de rotura	
				Valores	$\bar{x}$	$\sigma$		
<u>Características sistema-tipo: acabamento Padrão</u> <ul style="list-style-type: none"><li>– ensaio efetuado em sistema com 28 dias (estado novo);</li><li>– realizado numa zona corrente da fachada;</li><li>– fachada orientada a sul;</li><li>– sistema aplicado sobre murete;</li><li>– localizado em ambiente exterior;</li><li>– com cavilhas aplicadas sobre o isolante;</li><li>– aplicação do sistema sobre suporte não rebocado.</li></ul>				0,50	<b>0,56</b>	0,05	coesiva na camada de base	
				0,57				
				0,60				
Tipo de envelhecimento	Padrão	Natural	1 ano	0,19	<b>0,24</b>	0,06	coesiva no isolante	
				0,27				
		2 anos	0,15*	<b>0,17</b>	0,02	coesiva 50 % no isolante e 50 % na camada de base		
			0,19*					
		Artificial	28 dias em câmara higrotérmica	0,30	<b>0,33</b>	0,02	coesiva na camada de base	
				0,34				
	0,34							
	Tipo de acabamento	Beje	Natural	2 anos	0,17*	<b>0,20</b>	0,04	coesiva no isolante
					0,22*			
Cinza		0,22*			<b>0,22</b>	0,00		
		0,22*						
Preto		0,20*			<b>0,25</b>	0,07		
		0,30*						
Alheta		Artificial	28 dias em câmara higrotérmica	0,24	<b>0,38</b>	0,00	coesiva na camada de base	
				0,38				
				0,20*			coesiva 50 % no isolante e 50 % na camada de base	
Localização da fachada ensaiada - zona próximo da janela (zona reforçada)		Padrão	Artificial	28 dias em câmara higrotérmica	0,50	<b>0,56</b>	0,05	coesiva na camada de base
	0,57							
	0,60							
	Alheta	Artificial	28 dias em câmara higrotérmica	0,43	<b>0,41</b>	0,03	coesiva na camada de base	
				0,37			coesiva 80 % no camada de base e 20 % no produto de colagem	
				0,43			coesiva 50 % no isolante e 50 % na camada de base	
Localização das cavilhas plásticas - após aplicação da rede	Padrão	Natural	2 anos	0,17*	<b>0,17</b>	0,00	coesiva no isolante	
0,17*								
Características do suporte - rebocado			2 anos	0,14*	<b>0,17</b>	0,04	coesiva no isolante	
				0,19*				
Acabamento Padrão aplicado diretamente sobre suporte rebocado			2 anos	0,47	<b>0,37</b>	0,07	coesiva no reboco	
				0,57				

\*a incisão atingiu a rede

### 3.5.5 Ensaio de absorção de água por capilaridade

O Quadro 18 apresenta os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade do ETICS com os acabamentos Padrão e Alheta; os valores foram comparados com o mesmo ETICS com acabamento por pintura e sem acabamento. Os provetes de ETICS com acabamentos de ladrilhos cerâmicos apresentam uma maior absorção de água por capilaridade, do que o acabamento por pintura e o sistema só com camada de base. As variáveis estudadas apresentaram maior absorção de água por capilaridade após 24 horas.

A absorção de água por capilaridade após 24 h dos sistemas com acabamentos de ladrilhos cerâmicos apresentou valores superiores a 0,5 kg/m<sup>2</sup>.

Quadro 18 – Absorção de água por capilaridade – ETICS com acabamento Padrão, Alheta, pintura e sem acabamento (estado novo)

Variação de parâmetros em relação ao sistema-tipo		Absorção de água por capilaridade (kg/m <sup>2</sup> )					
		após 1 h			após 24 h		
		Valores	$\bar{x}$	$\sigma$	Valores	$\bar{x}$	$\sigma$
<b>Características sistema-tipo: acabamento Padrão</b>		0,30	<b>0,32</b>	0,02	0,86	<b>0,86</b>	0,05
– ensaio efetuado em sistema com 28 dias (estado novo);		0,33			0,91		
– provete do sistema;		0,99**			0,82		
– localizado em ambiente interior.							
Tipo de acabamento	Sem acabamento	–	<b>0,10***</b>	–	–	<b>0,28***</b>	–
	Alheta	0,47	<b>0,46</b>	0,02	1,16	<b>1,07</b>	
		0,44			0,98		
		0,11**			0,69		
	Pintura	–	<b>0,05***</b>	–	–	<b>0,22***</b>	–

\*Para análise de cada acabamento foram utilizados três provetes. \*\*valor não incluído no cálculo da média. \*\*\* valores retirados da ETA 11/0287 (LNEC 2011).

### 3.5.6 Ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão com recurso a tubos de Karsten

Para analisar o comportamento à água da argamassa das juntas foram realizados ensaios de permeabilidade à água sob pressão, com recurso a tubos de *Karsten*, isolando a zona do ladrilho. Foram também analisadas zonas apenas de ladrilhos.

A zona de absorção da argamassa de junta é mais pequena do que a zona de absorção só do ladrilho, por isso teve-se em conta essa diferença de área na análise de resultados.

Com o ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão foi possível analisar a influência dos seguintes fatores: tipo de acabamento, idade - envelhecimento natural,



envelhecimento artificial com ciclos higrotérmicos, localização (interior/exterior), orientação (sul, este e oeste).

a) Zona da argamassa de junta

Antes da execução do ensaio analisaram-se visualmente as zonas de argamassa de juntas (no Quadro 19), onde foram aplicados os tubos de *Karsten* e só após 2 anos foram detetadas micro-fissuras.

No Estado Novo, a zona este apresentou três tubos de *Karsten* onde não houve qualquer permeabilidade à água sob pressão.

Mesmo com a presença de micro-fissuração no sistema após 2 anos em ambiente exterior, os valores obtidos no ensaio não aumentaram.

Tal como no envelhecimento natural, os resultados após ciclos higrotérmicos – envelhecimento artificial – também foram bastante reduzidos.

Comparando os valores da permeabilidade à água sobre pressão da argamassa de juntas do acabamento Padrão aplicado sobre ETICS e sobre reboco são baixos e semelhantes.

Quadro 19 – Permeabilidade à água sob baixa pressão na zona da argamassa de junta

Variação de parâmetros em relação ao sistema-tipo para análise da zona de argamassa de junta			Permeabilidade à água sob baixa pressão ao fim de 120 min. (cm <sup>3</sup> )			Observações zona de ensaio
			Valores	$\bar{x}$	$\sigma$	
<u>Características sistema-tipo: acabamento Padrão</u> – ensaio efetuado em sistema com 28 dias (estado novo); – realizado numa zona corrente da fachada; – fachada orientada a sul; – sistema aplicado sobre murete; – localizado em ambiente exterior; – com cavilhas aplicadas sobre o isolante; – aplicação do sistema sobre suporte não rebocado.			0,1	<b>0,4</b>	0,4	sem fissuração
			0,2			
			0,2			
			0,3			
			1,1*			
Tipo de envelhecimento	Natural	2 anos	0,1	<b>0,2</b>	0,1	com micro-fissuração
			0,3			
			2,4**			
	Artificial	28 dias em câmara higrotérmica	0,0	<b>0,2</b>	0,2	sem fissuração
			0,2			
			0,4			
Tipo de ambiente	interior	28 dias	0,3	<b>0,4</b>	0,1	sem fissuração
			0,4			
			0,4			
Acabamento Padrão aplicado diretamente sobre suporte rebocado		2 anos	0,3	<b>0,2</b>	0,2	sem fissuração
			0,2			
			0,0			

\*não entrou no valor da média nem do desvio padrão por se afastar mais de 20% do valor médio. \*\* não entrou no valor da média nem do desvio padrão porque começou a perder água através do silicone aos 10 minutos.

#### b) Zona do ladrilho

Os valores obtidos no acabamento Padrão no estado novo são muito idênticos tanto em ambiente interior como no exterior e semelhante ao da argamassa de junta. A permeabilidade à água na zona de ladrilhos do acabamento Padrão aplicados sobre ETICS após ciclos higrotérmicos é muito reduzida; os valores são ainda mais baixos do que os valores obtidos no estado novo. Em ambos os acabamentos no estado novo (com 28 dias), mesmo variando a localização – exterior ou interior, a permeabilidade à água é sempre reduzida. Os valores em ambos os acabamentos após ciclos higrotérmicos são os mais baixos quando comparado com o acabamento Padrão com 28 dias, no estado novo. Após ciclos higrotérmicos, os ladrilhos dos dois tipos de acabamentos aplicados sobre ETICS apresentam uma reduzida ou quase nula permeabilidade à água (Quadro 20).

Quadro 20 – Permeabilidade à água sob baixa pressão na zona do ladrilho

Variação de parâmetros em relação ao sistema-tipo para análise da zona do ladrilho				Permeabilidade à água sob baixa pressão ao fim de 120 min. (cm <sup>3</sup> )			Observações zona de ensaio
				Valores	$\bar{x}$	$\sigma$	
<u>Características sistema-tipo: acabamento Padrão</u> <ul style="list-style-type: none"><li>– ensaio efetuado em sistema com 28 dias (estado novo);</li><li>– realizado numa zona corrente da fachada;</li><li>– fachada orientada a sul;</li><li>– sistema aplicado sobre murete;</li><li>– localizado em ambiente exterior;</li><li>– com cavilhas aplicadas sobre o isolante;</li><li>– aplicação do sistema sobre suporte não rebocado.</li></ul>				0,3	<b>0,4</b>	0,1	sem fissuração
				0,3			
				0,5			
Tipo de envelhecimento	Padrão	Artificial	28 dias em câmara higrotérmica	0,0	<b>0,1</b>	0,1	sem fissuração
				0,1			
				0,1			
Tipo de ambiente	Padrão	Interior	28 dias	0,4	<b>0,3</b>	0,1	
				0,3			
				0,3			
Alteração do tipo de acabamento	Alheta	Artificial	28 dias (em câmara higrotérmica)	0,1	<b>0,1</b>	0,0	
				0,1			
				0,1			
		Interior	28 dias	0,3	<b>0,7</b>	0,4	
				0,7			
				1,0			

### 3.5.7 Ensaio de permeabilidade ao vapor de água

Pretendeu-se com a execução do ensaio de permeabilidade ao vapor de água verificar se o acabamento cerâmico aplicado sobre o sistema ETICS tem capacidade para eliminar, por evaporação, a água infiltrada.

Os resultados foram analisados de acordo o ETAG 004 (EOTA 2000) que prevêem para acabamentos por pintura um valor para o ETICS, não incluindo o isolante, inferior ou igual a 2,0 m de espessura de camada de ar de difusão equivalente.

Para analisar o acabamento de ladrilhos foram definidos três tipos de provetes do acabamento Padrão; o que os distinguem são as três possíveis zonas do acabamento:

- ladrilhos + juntas refechadas com argamassa;
- zona envolvendo apenas o ladrilho cerâmico;

- zona só com argamassa de junta (este provete não tem a largura de uma junta, mas tem as dimensões dos outros provetes).

Em relação ao acabamento de Alheta, estudaram-se as seguintes variáveis:

- zona de encaixe – alheta;
- zona só do ladrilho.

Os provetes com junta de refechamento de argamassa e só com ladrilho permitem verificar isoladamente qual a contribuição do ladrilho e da argamassa de junta no processo em análise.

De acordo com os resultados apresentados no Quadro 21, os valores da espessura da camada de ar sem incluir o isolante, obtidos no ETICS com acabamento Padrão – zona ladrilho + junta refechada com argamassa – só atingem valores menores do que 2,00 m, quando dois dos resultados obtidos não são incluídos na média. Todas as variáveis do acabamento de Alheta são superiores a 2,00 m, mesmo não considerando alguns dos resultados obtidos 20 % acima do valor médio.

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água adaptado para acabamentos de ladrilhos cerâmicos aplicados sobre ETICS permitiu comprovar que a espessura de ar equivalente é menor em provetes com juntas entre ladrilhos; daí a importância da execução de juntas neste tipo de sistemas, para evitar a possível ocorrência de condensações intersticiais, assim é importante que este tipo de sistemas permita a eliminação por evaporação da água infiltrada logo que as condições o permitam.

É notável uma clara redução da permeabilidade no ETICS com acabamentos cerâmicos em relação ao sistema com acabamento por pintura.

Quadro 21 – Permeabilidade ao vapor de água – provetes de ETICS com acabamento Padrão, Alheta, pintura e sem acabamento (estado novo)

Variação de parâmetros em relação ao sistema-tipo		Zona do acabamento ensaiado	μ (-)			Sd (m) do sistema ETICS			Sd (m) do acabamento
			Valores	$\bar{x}$	σ	Valores	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$
<div>Características sistema-tipo: acabamento Padrão</div> <div><div>– ensaio efetuado em sistema com 28 dias (estado novo);</div><div>– provete do sistema;</div><div>– localizado em ambiente interior.</div></div>		Ladrilho	95,21	92,63	6,58	6,37	6,11	0,48	4,42
			151,94*			9,98*			
			116,40*			7,56*			
			85,15			5,56			
			97,53			6,40			
		Ladrilho + argamassa de junta	50,50	61,06	8,31	3,22	3,84	0,58	2,15
			57,20			3,70			
			59,47			3,82			
			65,95			4,25			
			72,16			4,61			
		Argamassa de junta	51,80	58,64	3,98	3,26	3,84	0,36	2,15
			61,83			4,20			
			58,78			3,79			
			60,49			3,90			
			60,30			4,04			
Tipo de acabamento	Alheta	Ladrilho	529,07*	122,73	11,04	34,24*	7,94	0,66	6,25
			110,13			7,17			
			123,83			8,07			
			120,11			7,76			
			136,84			8,77			
		Zona da alheta	61,75	68,63	15,89	4,07	4,52	1,05	2,83
			124,59*			8,12*			
			-12,23*			-0,80*			
			86,81			5,72			
			57,35			3,78			
	Pintura		–	–	–	–	2,07	–	0,38
	Só o isolante térmico utilizado		–	–	–	–	1,69	–	–

\*valores que não entraram para o cálculo da média e do desvio padrão.

### 3.5.8 Ensaio para determinação do módulo de elasticidade com recurso a ultrassons

#### a) Zona da argamassa de junta

Os resultados apresentados no Quadro 22 mostram que na zona de argamassa de junta existe uma diminuição da velocidade das ondas ao longo do tempo (do estado novo até 2 anos de idade) e uma diminuição também do módulo de elasticidade. Comparando os sistema no estado novo e após 2 anos e artificial verificou-se que após este último o sistema apresentou uma velocidade e módulo de elasticidade ligeiramente inferior em relação ao sistema com 2 anos de idade. O valor médio obtido no sistema no estado novo (em ambiente interior) apresenta uma velocidade de propagação de ondas mais elevada, o que poderá significar que o sistema apresenta maior compacidade da argamassa de junta ou também poderá indicar menor fissuração. Comparando os resultados obtidos numa zona corrente da fachada e na zona do peitoril, verificou-se que a zona do peitoril apresenta menor velocidade de propagação das ondas e menor módulo de elasticidade, ou seja, é uma zona mais suscetível a micro-fissuração do que a zona corrente da fachada que apresenta uma maior compacidade do material. A diferença entre os valores do provete do sistema e do sistema aplicado sobre a parede de alvenaria de tijolo, ambos no estado novo, é pouco pronunciada, que pode depender da aplicação e da cura (NILICA and HARMUTH 2005), mas pode também ter a ver com a influência do suporte nas medições.

Quadro 22 – Módulo de elasticidade com ultrassons na zona da argamassa de junta

Variação de parâmetros em relação ao sistema-tipo para análise da zona de argamassa de junta*			Velocidade (m/s)	Módulo de elasticidade (MPa)
<b>Características sistema-tipo: acabamento Padrão</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ensaio efetuado em sistema com 28 dias (estado novo);</li> <li>– realizado numa zona corrente da fachada;</li> <li>– sistema aplicado sobre murete;</li> <li>– localizado em ambiente <b>interior</b>;</li> <li>– com cavilhas aplicadas sobre o isolante;</li> <li>– aplicação do sistema sobre suporte não rebocado.</li> </ul>			1812	5131
Tipo de envelhecimento	Natural	2 anos (exterior)	1585	3929
	Artificial	28 dias (em câmara higrótérmica)	1507	3552
Localização da fachada ensaiada	zona do peitoril	Artificial (28 dias em câmara higrótérmica)	1210	2288
Dimensões do sistema	provete	28 dias	1705	4554

\*Massa volúmica aparente da argamassa de junta = 1737 Kg.m<sup>-3</sup>

b) Zona do ladrilho

O Quadro 23 apresenta os valores médios de velocidade e módulo de elasticidade na zona de ladrilho do acabamento Padrão. Os resultados são semelhantes no estado novo e após 2 anos. No ETICS sujeito a ciclos higrotérmicos analisou-se uma diminuição da velocidade de propagação de ondas e do módulo de elasticidade em relação ao estado novo e após 2 anos. Comparando o acabamento Padrão com o de Alheta, os valores médios são muito semelhantes, após ciclos higrotérmicos. No caso da idade de 28 dias - estado novo, o acabamento Padrão apresenta um valor médio superior de módulo de elasticidade em relação ao acabamento de Alheta

O ensaio de ultrassons sobre zona de ladrilho do acabamento Padrão e Alheta não apresentou diferenças significativas entre os provetes e aplicações sobre parede de alvenaria. Os ensaios de ultrassons foram também efetuados apenas num ladrilho e os resultados obtidos do módulo de elasticidade são mais elevados do que o provetes dos respetivos sistemas.

Quadro 23 – Módulo de elasticidade com ultrassons na zona do ladrilho

Variação de parâmetros em relação ao sistema-tipo para análise da zona do ladrilho*				Valores médios	
				Velocidade (m/s)	Módulo de elasticidade (MPa)
<b>Características sistema-tipo: acabamento Padrão</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– ensaio efetuado em sistema com 28 dias (estado novo);</li><li>– realizado numa zona corrente da fachada;</li><li>– sistema aplicado sobre murete;</li><li>– localizado em ambiente <b>interior</b>;</li><li>– com cavilhas aplicadas sobre o isolante;</li><li>– aplicação do sistema sobre suporte não rebocado.</li></ul>				2072	8195
Tipo de envelhecimento	Natural	2 anos (exterior)	Padrão	2005	7676
	Artificial	28 dias (em câmara higrotérmica)		1619	5002
Tipo de acabamento	Natural	28 dias (interior)	Alheta	1619	4495
Variação do acabamento	Artificial	28 dias (em câmara higrotérmica)		1754	5276
Dimensões do sistema e variação do acabamento	Provete	28 dias (em ambiente condicionado)	Padrão	1972	7426
			Alheta	2147	7905
Ensaio sobre apenas o ladrilho			Padrão	2485	11786
			Alheta	2643	11984

\*Massa volúmica do ladrilho = 2121 Kg.m<sup>-3</sup>

### 3.5.9 Aumento da massa por m<sup>2</sup> do sistema e influência na resistência de aderência à cola

O Quadro 24 apresenta as massas por m<sup>2</sup> do sistema de ETICS com diferentes tipos de acabamentos. A massa introduzida a mais com a aplicação do acabamento Padrão em relação ao mesmo sistema com aplicação de pintura foi de 26 kg/m<sup>2</sup>.

A tensão por corte introduzida a mais pela aplicação do acabamento cerâmico do acabamento Padrão sobre ETICS foi de 264,11 N/m<sup>2</sup>.

Apesar de não serem diretamente comparáveis, porque estas tensões funcionam em direções perpendiculares, verificou-se que a tensão por corte (0,00026 N/mm<sup>2</sup>) continua a ser muito inferior à resistência de aderência por tração obtida (0,15 N/mm<sup>2</sup>).

No entanto, tendo em conta o aumento do risco de segurança por queda de elementos mais pesados, considerou-se que se deve limitar a massa por m<sup>2</sup> de ladrilho a 32 kg/m<sup>2</sup>. Isto corresponderia, para ladrilhos com massa volúmica da ordem de grandeza dos do caso de estudo analisado, a uma espessura de cerca de 15 mm.

Quadro 24 – Massa do sistema ETICS com diferentes tipos de acabamentos por m<sup>2</sup>

Características do sistema	kg/m <sup>2</sup>
EPS + sem acabamento	4
EPS + com acabamento por pintura	5
EPS + acabamento Padrão	32
EPS + acabamento Alheta	30



### 3.6 Estudo paramétrico

#### 3.6.1 *Generalidades*

O objetivo deste subcapítulo é avaliar a influência de cada parâmetro analisado através da variação de algumas características.

#### 3.6.2 *Parâmetros analisados*

a) Análise do comportamento do acabamento cerâmico aplicado sobre ETICS e o mesmo acabamento diretamente sobre o suporte

Este parâmetro permite analisar a diferença entre o comportamento do acabamento cerâmico aplicado diretamente sobre o reboco e o mesmo acabamento sobre ETICS; de acordo com os ensaios apresentados no capítulo 3, verificou-se que:

- no comportamento ao choque existe uma diferença entre o diâmetro das moedas, tanto no impacto com esfera de 3 J como de 10 J. Os valores são superiores no acabamento aplicado sobre o reboco (Fig. 54);
- nos dois tipos de aderência analisados, o acabamento cerâmico quando aplicado sobre reboco obtém sempre um valor superior ao mesmo acabamento aplicado sobre isolante (Figs. 55 e 56), o que seria expectável, dado que no último caso a aderência é condicionada pela coesão do isolante;
- o comportamento à água na argamassa de juntas é semelhante no acabamento cerâmico sobre ETICS e sobre o reboco (Fig. 57).

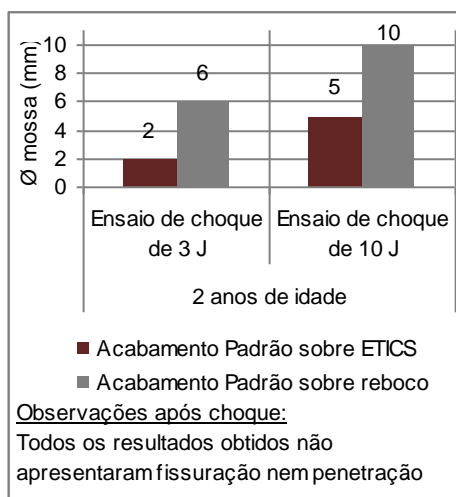


Fig. 54 – Ensaio de choque de 3 J e 10 J com variação do parâmetro – acabamento cerâmico aplicado sobre ETICS/reboco

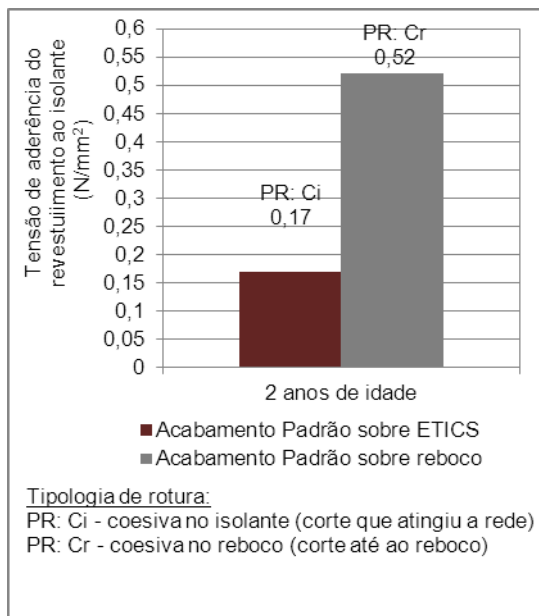


Fig. 55 – Ensaio de aderência do revestimento ao isolante com variação do parâmetro – acabamento cerâmico aplicado sobre ETICS/reboco

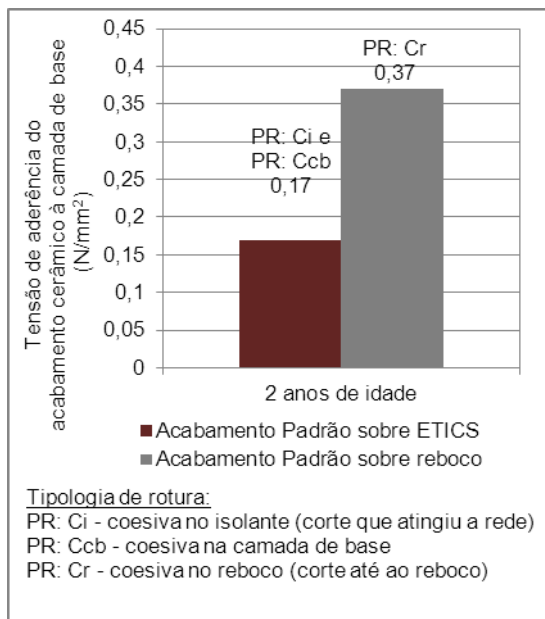


Fig. 56 – Ensaio de aderência do acabamento cerâmico à camada de base – acabamento cerâmico aplicado sobre ETICS/reboco

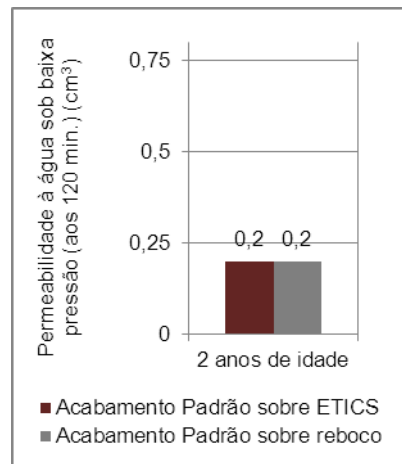


Fig. 57 – Ensaio com tubos de *Karsten* com variação do parâmetro – acabamento cerâmico aplicado sobre ETICS/reboco

b) Análise do comportamento do sistema até 2 anos de idade – envelhecimento natural

A análise do comportamento do sistema ETICS com acabamento cerâmico ao longo do tempo permitiu concluir que:

- o fator tempo (envelhecimento natural) não contribuiu para o aumento do diâmetro de moesa, nem degradação resultante do impacto das esferas de 3 J e de 10 J sobre o tipo de ladrilho utilizado no acabamento Padrão (Fig. 58);
- houve ligeira tendência para diminuição da tensão de aderência do revestimento ao isolante ao longo do tempo, à exceção do valor com um ano de idade (Fig. 59);
- o valor da tensão de aderência do acabamento cerâmico à camada de base diminui para metade no sistema com 1 ano de idade e após 2 anos de idade, devido ao corte da incisão penetrar até ao isolante (Fig. 60);
- houve uma diminuição do valor do módulo de elasticidade ao longo do tempo, tanto na argamassa de junta como no ladrilho (Figs. 61 e 62);
- não há variação do comportamento à água na argamassa de junta e no ladrilho, os valores são muito semelhantes, quase nulos (Fig. 63).

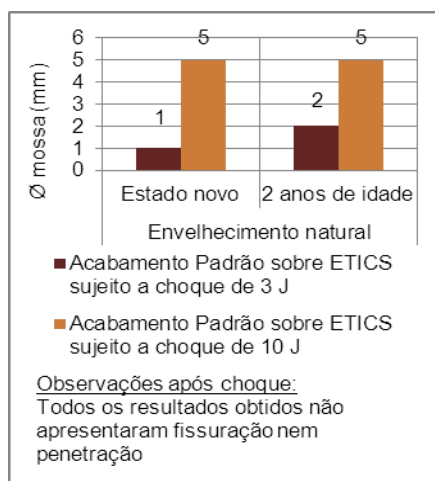


Fig. 58 – Ensaio de choque de 3 J e 10 J com variação do parâmetro – comportamento do ETICS até dois anos de idade

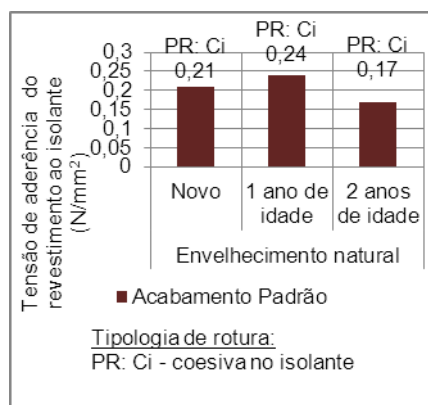


Fig. 59 – Ensaio de aderência do revestimento ao isolante com variação do parâmetro – comportamento do ETICS até dois anos de idade

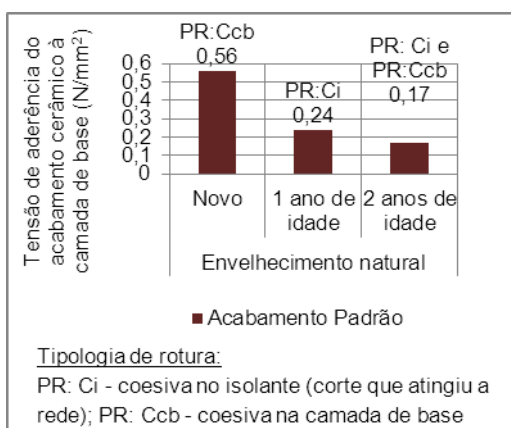


Fig. 60 – Ensaio de aderência do acabamento cerâmico à camada de base com variação do parâmetro – comportamento do ETICS até dois anos de idade

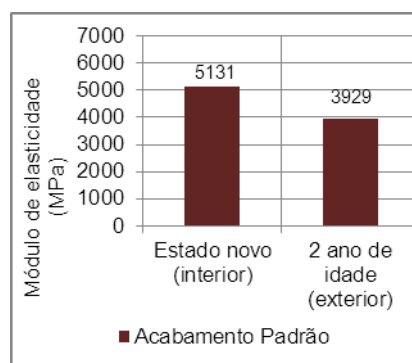


Fig. 61 – Ensaio do módulo de elasticidade na zona da argamassa de junta com variação do parâmetro – comportamento do ETICS até dois anos de idade

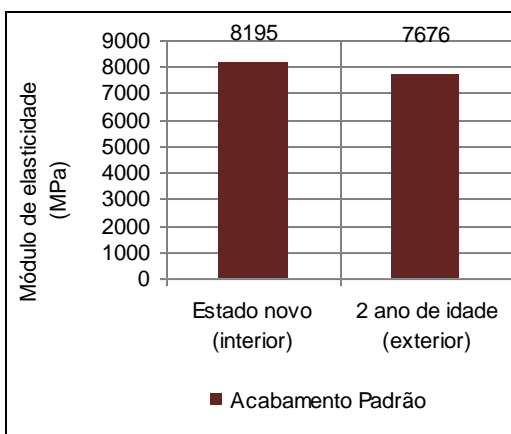


Fig. 62 – Análise do ensaio do módulo de elasticidade no ladrilho com variação do parâmetro - comportamento do ETICS até dois anos de idade e variação do tipo de ladrilho

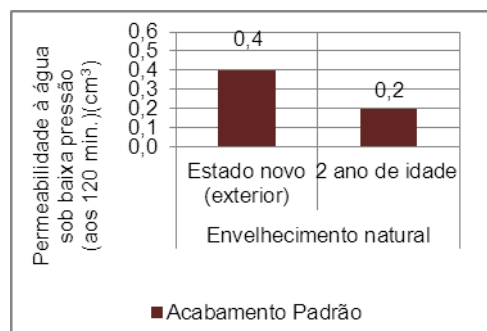


Fig. 63 – Análise do ensaio com tubos de Karsten sobre a argamassa de junta com variação do parâmetro - comportamento do ETICS até dois anos de idade

### c) Variação do tipo de envelhecimento - natural (até 2 anos de idade) e artificial

A variação deste parâmetro tenta comparar o envelhecimento natural com o envelhecimento artificial do ensaio higrotérmico e verificou-se que:

- não há uma variação quando submetido a ensaio de choque (Fig. 64);
- após o ensaio higrotérmico, o valor de aderência do revestimento ao isolante foi superior ao sistema com 2 anos de idade (Fig. 65);
- no caso da aderência do acabamento cerâmico à camada de base, o valor após ciclos higrotérmicos é superior a 1 e 2 anos de idade e inferior ao estado novo (Fig. 66);
- os valores do módulo de elasticidade na argamassa de junta do sistema após 2 anos e após ciclos higrotérmicos são muito semelhantes e ambos mais baixos que no estado novo (Fig. 67);
- no caso do módulo de elasticidade sobre ladrilho o valor após ciclos higrotérmicos foi mais baixo do que os valores no estado novo e com 2 anos de idade (Fig. 68);
- há uma redução permeabilidade à água, após ciclos higrotérmicos, tanto na argamassa de junta assim como na zona dos ladrilhos, os valores são muito reduzidos (Figs. 69 e 70).

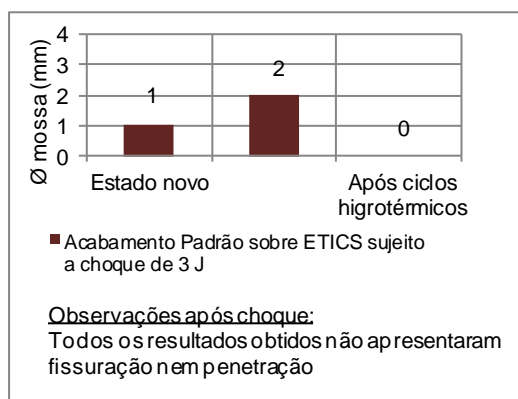


Fig. 64 – Ensaio de choque de 3 J e de 10 J com variação do parâmetro – tipo de envelhecimento

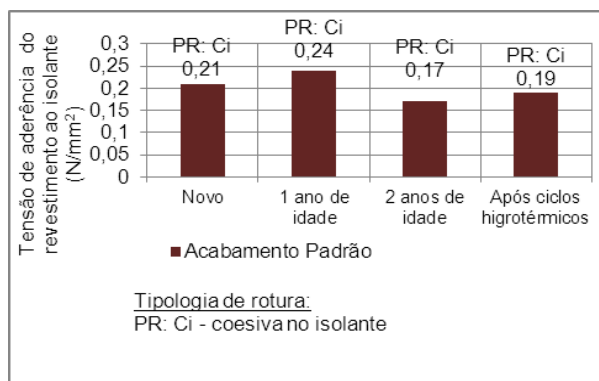


Fig. 65 – Ensaio de aderência do revestimento ao isolante com variação do parâmetro – tipo de envelhecimento

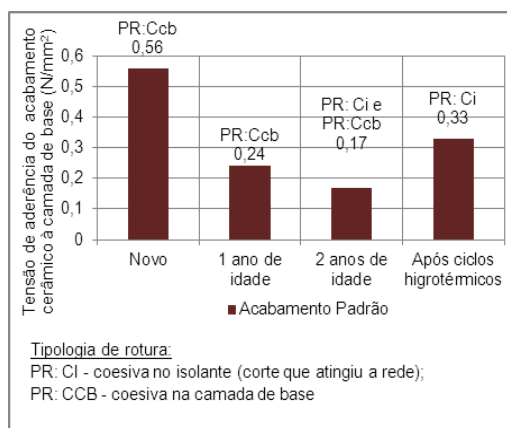


Fig. 66 – Ensaio de aderência do acabamento cerâmico à camada de base com variação do parâmetro – tipo de envelhecimento

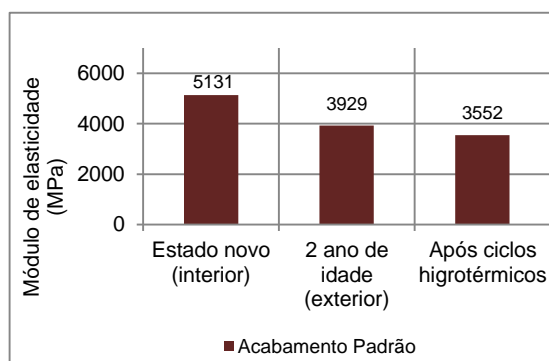


Fig. 67 – Ensaio do módulo de elasticidade na argamassa de junta com variação do parâmetro – tipo de envelhecimento

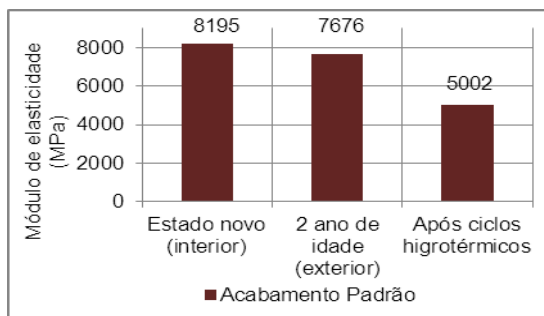


Fig. 68 – Ensaio do módulo de elasticidade na zona do ladrilho com variação do parâmetro – tipo de envelhecimento

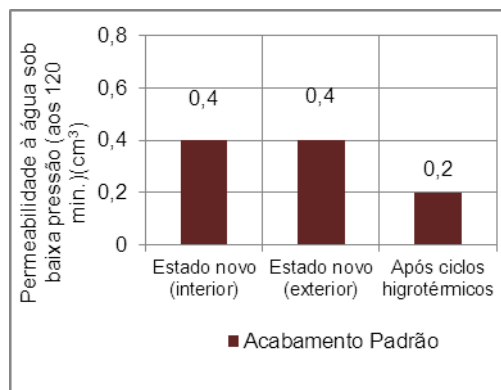


Fig. 69 – Ensaio com tubos de *Karsten* sobre a argamassa de junta com variação do parâmetro – tipo de envelhecimento

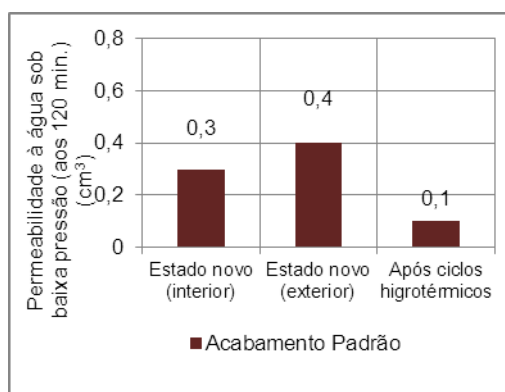


Fig. 70 – Ensaio com tubos de *Karsten* sobre a zona do ladrilho com variação do parâmetro – tipo de envelhecimento

c) Alteração do tipo de acabamento

Com a alteração de acabamento:

- não houve variação no comportamento ao choque em sistema ETICS com acabamentos muito semelhantes (Fig. 71);
- fixando o tipo de envelhecimento, a utilização de diferentes tipos de acabamentos cerâmicos aplicados sobre ETICS não influenciou a aderência do revestimento ao isolante, com o corte da incisão até ao isolante (Fig. 72) e do acabamento cerâmico à camada de base (Fig. 73);
- os valores resultantes do ensaio de permeabilidade ao vapor de água variam com o tipo de acabamento; também se verificou uma variação dentro de cada zona do acabamento (Fig. 75);
- verificou-se uma grande diferença das massa dos ETICS com acabamento de ladrilhos cerâmicos e dos ETICS com ou sem acabamento por pintura (Fig. 76);
- a absorção de água por capilaridade não varia com o tipo de ladrilho com características semelhantes, mas apresentam valores superiores em relação aos sistemas ETICS com acabamento por pintura ou sem acabamento (Fig. 77).

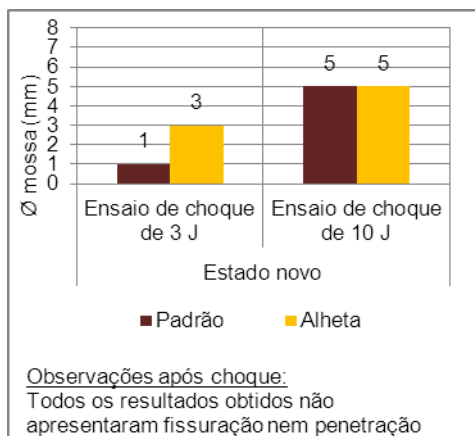


Fig. 71 – Ensaio de choque de 3 J e de 10 J com variação do parâmetro – variação do tipo de acabamento

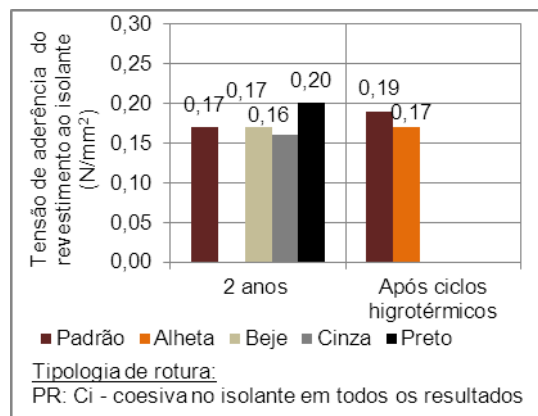


Fig. 72 – Ensaio de aderência do revestimento ao isolante com variação do parâmetro – variação do tipo de acabamento

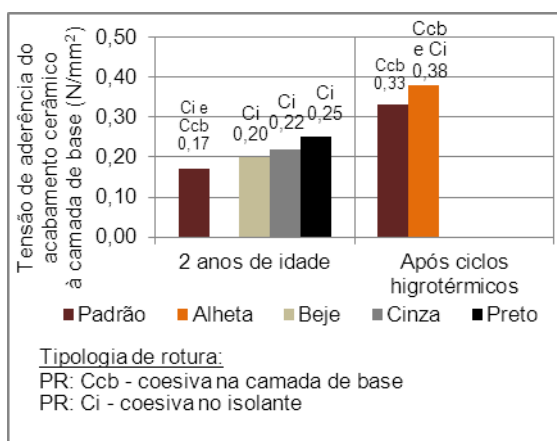


Fig. 73 – Ensaio de aderência do acabamento cerâmico à camada de base com variação do parâmetro – variação do tipo de acabamento

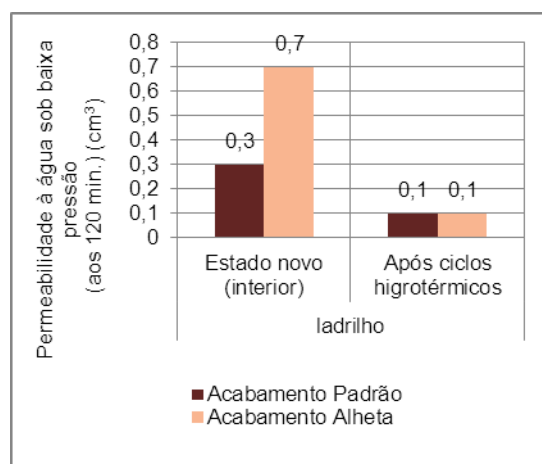


Fig. 74 – Análise do ensaio com tubos de Karsten sobre a zona do ladrilho com variação do parâmetro – variação do tipo de acabamento



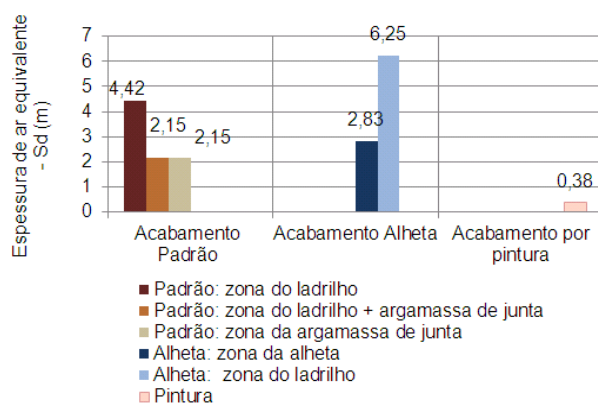


Fig. 75 – Ensaio de permeabilidade ao vapor de água – variação do tipo de acabamento

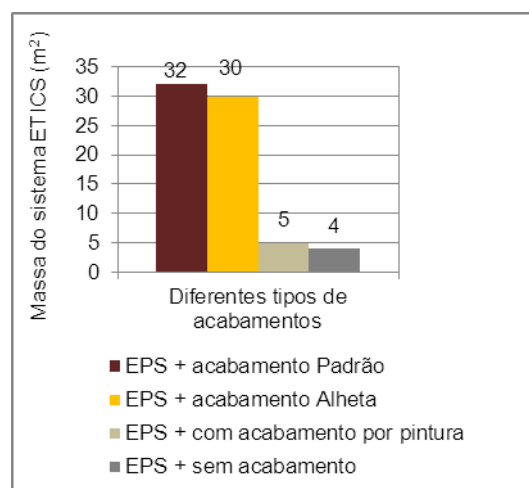


Fig. 76 – Aumento de massa do sistema ETICS – variação do tipo de acabamento

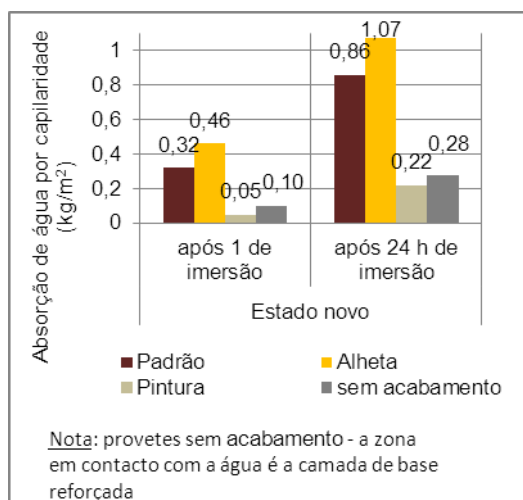


Fig. 77 – Absorção de água por capilaridade – variação do tipo de acabamento

### e) Alteração da zona da fachada

O parâmetro analisado - alteração da zona da fachada:

- para o caso do ensaio de aderência do revestimento ao isolante com o corte da incisão até ao isolante, a variação da zona de ensaio não influenciou os resultados, mesmo alterando o tipo de acabamento cerâmico (Fig. 78);
- há um aumento dos resultados do ensaio de aderência dos dois acabamentos cerâmicos (Padrão e Alheta) à camada de base, na zona próxima da janela (Fig. 79);
- os resultados do módulo de elasticidade na argamassa de refechamento foram influenciados pela alteração da zona ensaiada; os valores obtidos na junta do peitoril da janela foi mais baixo (Fig. 80).

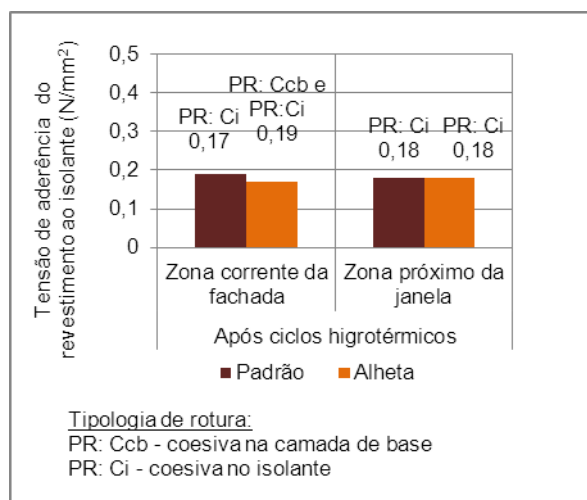


Fig. 78 – Ensaio de aderência do revestimento ao isolante com variação do parâmetro – variação da zona da fachada ensaiada

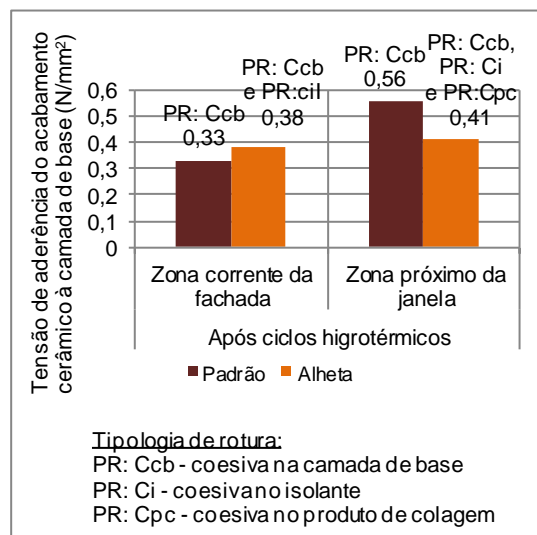


Fig. 79 – Ensaio de aderência do acabamento cerâmico à camada de base com variação do parâmetro – variação da zona da fachada ensaiada

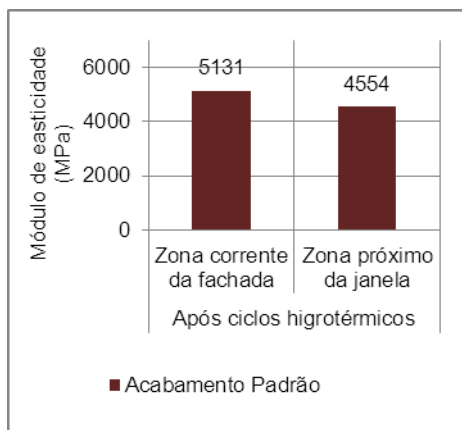


Fig. 80 – Ensaio do módulo de elasticidade na argamassa de junta com variação do parâmetro – variação da zona da fachada ensaiada

h) Localização da aplicação das cavilhas plásticas no sistema ETICS (sobre as placas de isolante térmico ou após a aplicação da rede)

Verificou-se que a localização da ancoragem não influenciou os valores dos dois ensaios de aderência (Figs. 81 e 82).

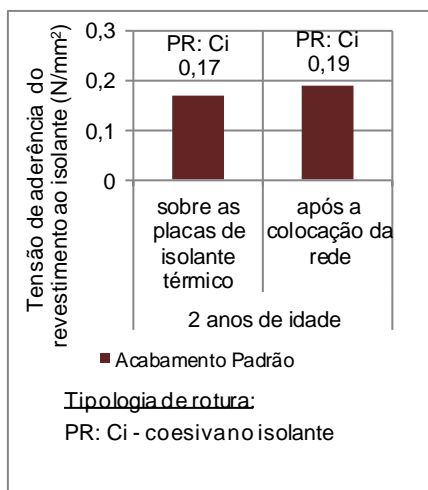


Fig. 81 – Ensaio de aderência do revestimento ao isolante com variação do parâmetro – localização das cavilhas

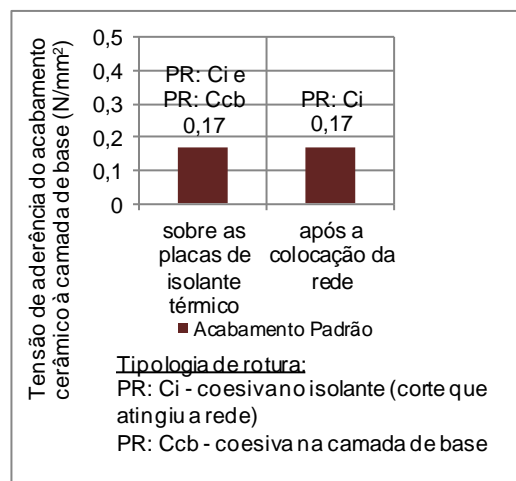


Fig. 82 – Ensaio de aderência do acabamento cerâmico à camada de base com variação do parâmetro – localização das cavilhas

i) Características do suporte onde foi aplicado o sistema ETICS (rebocado ou não rebocado)

A aderência tanto do revestimento ao isolante como do acabamento cerâmico à camada de base não é influenciada pela aplicação de reboco no suporte antes da colocação do sistema de ETICS (Figs. 83 e 84).

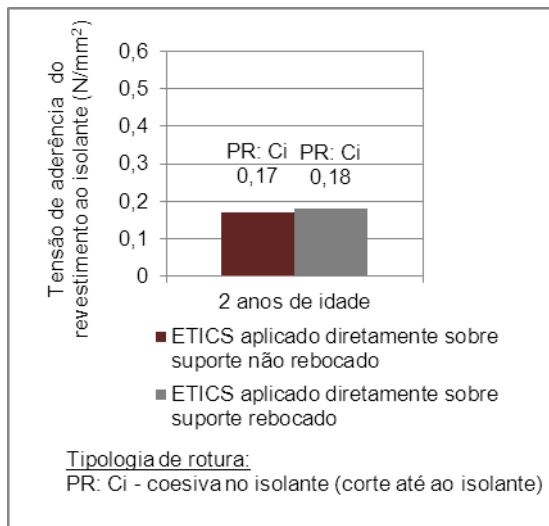


Fig. 83 – Ensaio de aderência do revestimento ao isolante com variação do parâmetro – suporte rebocado ou não rebocado

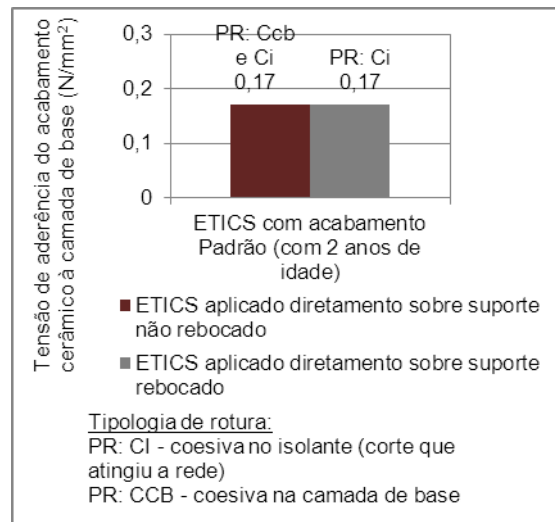


Fig. 84 – Ensaio de aderência do acabamento cerâmico à camada de base com variação do parâmetro – suporte rebocado ou não rebocado

j) Variação das dimensões do sistema

Na argamassa de junta e na zona do ladrilho o módulo de elasticidade foi influenciado pelas dimensões do provete de aplicação no acabamento Padrão e no acabamento de Alheta (Figs. 85 e 86).

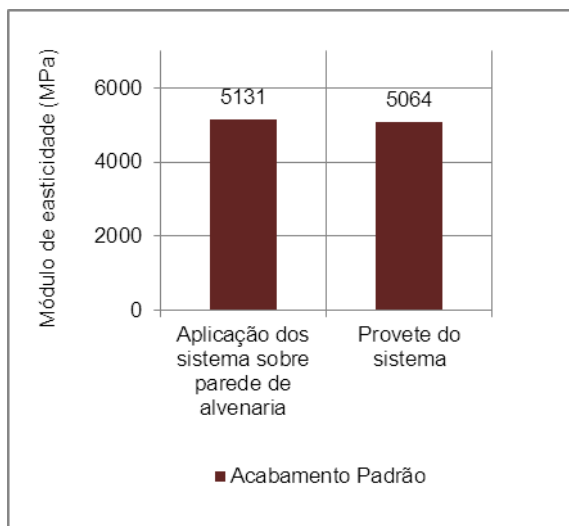


Fig. 85 – Ensaio do módulo de elasticidade na argamassa de junta com variação do parâmetro – dimensões do sistema ETICS

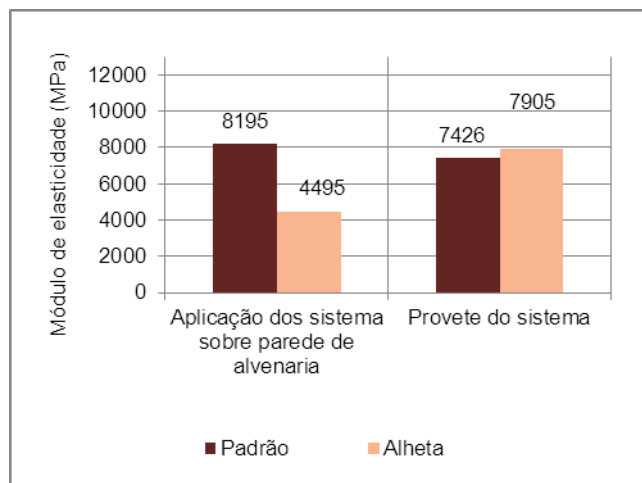


Fig. 86 – Ensaio do módulo de elasticidade na zona do ladrilho com variação do parâmetro – dimensões do sistema ETICS

k) Sistema ETICS sujeito a impacto de 10 J

Há uma tendência para diminuição da aderência após choque de 10 J no acabamento Padrão aplicado sobre o ETICS; no caso do ETICS com acabamento Alheta verificou-se um ligeiro aumento (Fig. 87).

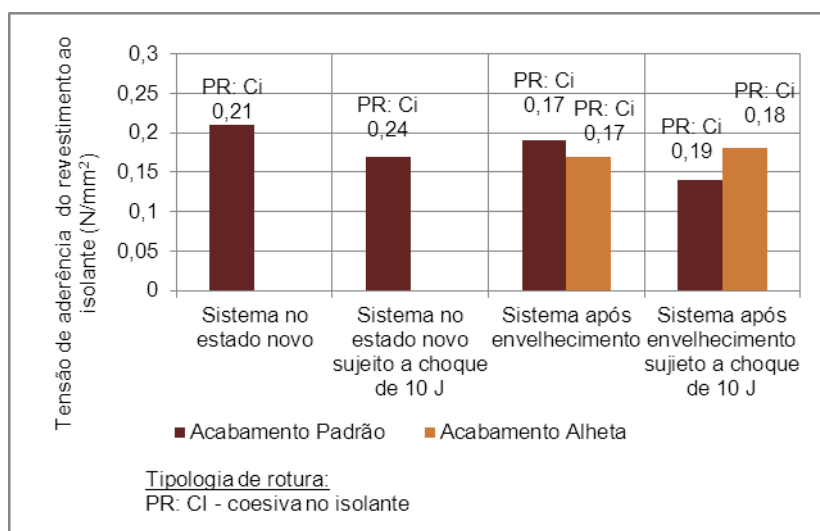


Fig. 87 – Ensaio de aderência do revestimento ao isolante com variação do parâmetro  
– sistema sujeito a choque de 10 J

I) Tipo de ambiente (exterior e interior)

Mesmo variando o tipo de ambiente, não se verificou tanto na argamassa de junta como no ladrilho variação da permeabilidade à água (Figs. 88 e 89).

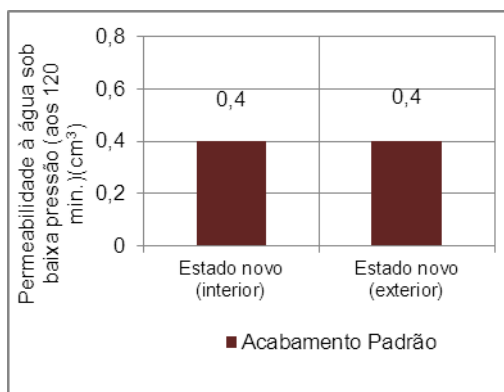


Fig. 88 – Ensaio com tubos de *Karsten* sobre a argamassa de junta com variação do parâmetro – tipo de ambiente (exterior/interior)

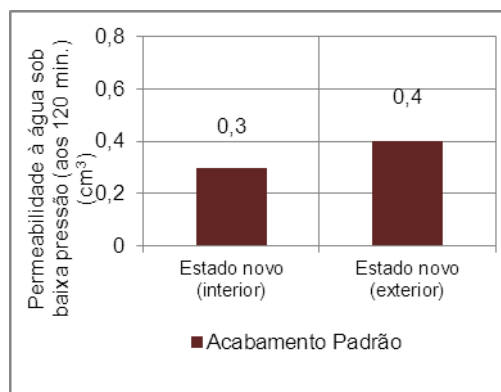


Fig. 89 – Ensaio com tubos de *Karsten* sobre a zona do ladrilho com variação do parâmetro – tipo de ambiente (exterior/interior)

### **3.7 Conclusões parciais resultantes da análise dos resultados**

#### Ensaio de envelhecimento natural

O comportamento do ETICS com acabamento Padrão considerou-se satisfatório até 2 anos de idade, assim como o sistema com os acabamentos Beje e Cinza, porque não apresentaram nenhuma anomalia até à idade referida. No acabamento Preto verificou-se a presença de fissuração na argamassa de juntas verticais e horizontais; este acabamento foi utilizado para simular uma situação crítica, com a utilização dos ladrilhos mais escuros do mercado, com coeficiente de dilatação maior, com dimensões maiores que os restantes estudados e também com uma largura de junta bastante reduzida.

#### Ensaio de envelhecimento artificial

Este ensaio permitiu submeter o ETICS com acabamento Padrão e Alheta a ciclos de calor-chuva e calor-frio, de acordo com as exigências previstas no ETAG 004 (EOTA 2000). Os referidos acabamentos não apresentaram sinais de degradação, nomeadamente dos seguintes tipos: arqueamento ou empolamentos, fissuração, perda de aderência ou destacamento, alteração volumétrica, ou alteração da cor de ladrilhos, escorrimentos e fissuração da argamassa de juntas, destacamento do sistema ao suporte (exigências adaptadas a este tipo de acabamentos); assim o comportamento do sistema com qualquer um dos dois acabamentos considerou-se satisfatório face aos ciclos higrotérmicos.

#### Ensaio de choque de 3 J, de 10 J e ensaio de perfuração

Os sistemas com acabamento cerâmico foram analisados de acordo com as exigências previstas no ETAG 004 (EOTA 2000) para acabamentos por pintura.

Os resultados mostram que os valores dos diâmetros das mossas são muito pequenos, quando comparados com valores de estudos efetuados sobre acabamentos de pintura (VEIGA and MALANHO 2010 a), o que significa que este tipo de acabamento é pouco deformável e muito resistente ao choque, não se verificando fissuração nem penetração. Em relação à resistência à perfuração, através do ensaio com o aparelho *Perfoctest* verificou-se que é difícil perfurar este tipo de acabamento com punção de 6 mm; por isso diminuiu-se o diâmetro, mas mesmo assim, o acabamento conseguiu resistir ao punção de 4 mm. Mesmo após o envelhecimento artificial o sistema apresenta uma boa resistência ao choque e à perfuração.



A alteração para acabamento Alheta não influenciou os resultados dos ensaios.

Comparou-se o acabamento Padrão aplicado sobre reboco, com 2 anos de idade e verificou-se que os diâmetros aumentaram aproximadamente para o dobro mas sempre inferiores aos resultados sobre os sistemas ETICS com acabamento por pintura.

Assim todos os sistemas com acabamento de ladrilhos analisados com os diferentes envelhecimentos não apresentaram deterioração após choque de esfera de 3 J e de 10 J nem perfuração com punção de 6 mm. Os sistemas analisados são portanto classificados com a categoria I, podendo ser aplicados em zonas das fachadas muito acessíveis ao público e como tal sujeitas a choques.

#### Ensaio de aderência do revestimento ao isolante

Em geral, os resultados foram semelhantes com a aplicação do acabamento Padrão ao longo do tempo e a tipologia de rotura deu-se no seio do isolante.

Após ciclos higrotérmicos houve uma diminuição dos valores da aderência; mas a alteração do acabamento para Alheta não variou a média dos resultados.

O ensaio efetuado numa zona próximo da janela, com uma rede de reforço para além da rede normal, permitiu verificar que, quando a incisão é efetuada até ao isolante, os valores são muito semelhantes a zonas só com uma rede normal (zona designada por “corrente da fachada”).

Os valores de tensão de arrancamento obtidos no ETICS com acabamento Padrão baixaram após o choque de 10 J tanto no estado novo como após ciclos higrotérmicos, mas no acabamento de Alheta com juntas de 1 a 2 mm os valores mantiveram-se mesmo após o impacto.

Os resultados foram semelhantes no ensaio de aderência com o corte até ao isolante com diferentes tipos de ladrilhos.

A aplicação de reboco sobre o suporte não melhorou o comportamento da aderência da camada de base ao isolante.

A alteração da posição das cavilhas não influenciou os resultados.

### Ensaio de aderência do acabamento cerâmico à camada de base

No acabamento Padrão aplicado sobre ETICS no estado novo, os valores obtidos no ensaio de aderência do acabamento cerâmico à camada de base foram mais elevados do que na aderência do revestimento ao isolante. Verificou-se uma diminuição dos valores do sistema após 1 e 2 anos, em relação ao estado novo. Após os ciclos higrotérmicos o sistema apresentou valores mais baixos do que o estado novo, mas mais elevados do que as aplicações após 1 e 2 anos.

No ensaio após ciclos higrotérmicos, a variação do tipo de acabamento - Alheta, não influenciou a aderência do ladrilho à camada de base.

Os valores próximos da janela, com o corte até à camada de base, apresentaram valores mais elevados de tensão de aderência do ladrilho à camada de base, tanto no acabamento Padrão, como no acabamento de Alheta.

Alterando a cor do ladrilho (Beje, Cinza e Preto) conclui-se que os valores são muito idênticos ao acabamento Padrão.

O comportamento do acabamento Padrão aplicado sobre reboco apresentou uma aderência mais elevada do que a aderência do ladrilho à camada de base determinada sobre ETICS com acabamento cerâmico.

Conclui-se também que a variação da localização das cavilhas plásticas após aplicação da rede, assim como a aplicação do reboco sobre o suporte não alteraram os resultados da tensão de arrancamento.

Neste ensaio, verificou-se em alguns casos, que quando a incisão da carote atingiu a rede e os valores não foram considerados no cálculo da média e no desvio padrão, a representatividade dos valores diminuiu significativamente, já que ficou um pequeno número de valores (por vezes apenas um ou dois) considerados válidos.

Verificou-se ainda, por outro lado, que se a incisão não tivesse atingido a rede, os valores deveriam ser um pouco superiores, ou pelo menos não inferiores.

### Ensaio de absorção de água por capilaridade

Neste ensaio os valores de absorção após 1 hora pelo sistema constituído pela camada de base armada aplicada sobre o isolante térmico sem acabamento foram inferiores a 1 kg/m<sup>2</sup>, considerando-se bastante impermeável; desta forma, o desempenho do sistema em relação à absorção de água considera-se satisfatório mesmo sem contribuição do acabamento final.

No entanto, os valores de absorção de água obtidos nos acabamentos cerâmicos Padrão e Alheta situaram-se entre 0,30 e 0,46 kg/m<sup>2</sup>. Tendo em conta o bom comportamento da camada de base, esta água absorvida não atingirá o isolante.

Durante a execução deste ensaio verificou-se que os provetes em contacto com a água ao fim de 24 h aumentaram 1 % da sua massa em relação ao estado seco.

### Ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão com tubos de *Karsten*

- Análise da argamassa de junta do acabamento Padrão

Em geral os valores de penetração de água através do ensaio de permeabilidade à água sob pressão são muito reduzidos, variando entre 0 e 0,7 cm<sup>3</sup>; à exceção de 2 tubos que absorveram 1,1 e 2,4 cm<sup>3</sup> de zonas diferentes, os restantes tubos dessas zonas obtiveram resultados dentro do intervalo referido.

Em geral, as argamassas de juntas até 2 anos de idade não apresentam um aumento de absorção de água com a idade.

Verificou-se no entanto que após 2 anos, numa zona com micro-fissuração, só um dos tubos absorveu 2,4 cm<sup>3</sup> aos 120 minutos, e os restantes 0,1 e 0,3 cm<sup>3</sup>.

O comportamento à água da argamassa de junta do acabamento Padrão após 28 dias de secagem é semelhante, tanto em ambiente exterior como interior.

Na fachada virada a sul no estado novo em geral os valores foram ligeiramente superiores do que na fachada virada a este, provavelmente devido a microfissuração provocada pela maior amplitude térmica; no tubo 5 o valor atingiu 1,1 cm<sup>3</sup>.

Os resultados após o envelhecimento artificial apresentados foram quase nulos e mais baixos do que os acabamentos sujeitos a envelhecimento natural, parecendo indicar que mesmo após os ciclos higrotérmicos a argamassa de juntas mantém-se estanque.

Mesmo variando o suporte - ETICS ou diretamente sobre reboco onde foi aplicado o acabamento cerâmico – concluiu-se que o comportamento à água foi muito semelhante.

- Análise do ladrilho utilizado no acabamento Padrão e comparação com o ladrilho de Alheta

Em geral os valores de absorção de água através do ensaio de permeabilidade à água sob pressão são muito reduzidos variando entre 0 e 0,5 cm<sup>3</sup> e 1,0 cm<sup>3</sup> no caso do acabamento Alheta.

Nos dois tipos de acabamento os valores de absorção de água entre o ambiente interior e exterior foram semelhantes.

Os resultados após o envelhecimento artificial apresentados foram quase nulos e mais baixos do que os acabamentos no estado novo e com 2 anos de idade.

Mesmo com a presença de micro-fissuração visível na argamassa de juntas os valores são muito baixos ao fim de 120 minutos, o que indica que este tipo de juntas apresenta um bom comportamento face à estanquidade à água e que a água não penetra através da camada de base, não afetando por isso o isolante.

#### Ensaio de permeabilidade ao vapor de água

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água adaptado para revestimento de ladrilhos cerâmicos, confirmou menor permeabilidade ao vapor de água do sistema com acabamento de ladrilhos em relação aos acabamentos por pintura de base cimentícia ou sintética, mas revelou uma redução ainda maior na ausência de juntas entre ladrilhos. O aumento da largura de juntas poderá facilitar a eliminação da água infiltrada por evaporação.

### Ensaio para determinação do módulo de elasticidade com recurso a ultrassons

#### – Argamassa de refechamento das juntas

Os valores obtidos no ensaio com recurso a ultrassons permitiram obter a velocidade das ondas ultrassónicas e o módulo de elasticidade do material. Estas ondas conseguem atingir maiores velocidades e valores superiores em materiais mais compactos e com menores descontinuidades.

O ensaio de ultrassons permitiu verificar que há uma diminuição da velocidade de transmissão das ondas ultrassónicas e do módulo de elasticidade na argamassa de junta entre o estado novo e com dois anos de idade, o que pode indiciar que existe uma diminuição da compacidade do material em análise; esta redução pode dever-se a um possível aumento de micro-fissuração interna; no entanto mesmo existindo essa micro-fissuração, o ensaio com tubos de *Karsten* vem comprovar a capacidade de impermeabilização da argamassa de junta, com penetração de água bastante reduzida.

Comparando os dois tipos de envelhecimento, pode-se constatar que após o envelhecimento artificial, o ETICS obteve valores mais baixos.

A zona do peitoril apresentou um módulo de elasticidade menor, o que indica que poderá ser uma zona mais suscetível a micro-fissurações.

#### – Zona do ladrilho

No estado novo, determinou-se um módulo de elasticidade mais elevado no acabamento Padrão do que após 2 anos.

O acabamento padrão após ciclos higrotérmicos apresenta valores menores do que no estado novo e com idade de 2 anos.

No acabamento de Alheta houve uma diminuição do módulo de elasticidade no estado novo em ambiente interior em relação ao acabamento Padrão, no entanto após ciclos higrotérmicos os valores são muito semelhantes ao acabamento Padrão.

### **3.8 Análise dos resultados de acordo com os problemas previstos para acabamentos de ladrilhos cerâmicos sobre ETICS**

#### Dilatações térmicas superiores no ladrilho em relação à argamassa de refechamento de juntas

Verificou-se a presença de fissuração na argamassa de junta entre ladrilhos de cor preta; a junta do acabamento Preto não tinha uma largura suficiente para acompanhar as dilatações térmicas. Nos restantes acabamentos estudados verificou-se que as juntas apresentavam uma largura suficiente para absorver as dilatações dos ladrilhos.

#### Fissuração na argamassa de juntas

Com o ensaio de ultrassons verificou-se que, em fachadas expostas a condições atmosféricas ou após ciclos higrotérmicos, há uma diminuição do módulo de elasticidade, o que indica uma possibilidade de existência de micro-fissuração interna da argamassa; para analisar a influência dessa possível micro-fissuração foram efetuados ensaios com tubos de *Karsten* e os resultados de permeabilidade à água nessas zonas foram baixos, o que indica que as juntas de argamassa apresentam um comportamento satisfatório à impermeabilização à água. Assim, no caso concreto estudado não se verificou este problema. No entanto o ensaio realizado mostrou-se adequado para fazer essa verificação.

#### Condensações

Para evitar a possível ocorrência de condensações intersticiais, é importante que este tipo de sistemas permita a eliminação, por evaporação, da água infiltrada logo que as condições o permitam. O ensaio de permeabilidade ao vapor de água confirmou menor permeabilidade ao vapor de água do sistema com acabamento de ladrilhos em relação aos acabamentos por pintura de base cimentícia ou sintética, mas revelou uma redução ainda na zona dos ladrilhos; assim as juntas deverão ter uma largura suficiente para poder ocorrer através destas zonas a saída do vapor de água.

#### Destacamentos de ladrilhos

Esta anomalia foi analisada através do ensaio de aderência do acabamento cerâmico à camada de base, com incisão até à camada de base. É importante ter em conta que o elevada absorção de água, contribui para o aumento de massa do sistema e, conseqüentemente, o aumento de risco de destacamento de ladrilhos.

## 4. METODOLOGIA PROPOSTA DE ENSAIO E AVALIAÇÃO DE ETICS COM ACABAMENTO DE LADRILHOS CERÂMICOS

De acordo com os resultados obtidos propõe-se reajustar e adaptar para ETICS com acabamento cerâmico a metodologia definida no Guia para ETICS com acabamento por pintura (EOTA 2000) com base na campanha experimental apresentada no capítulo 3:

### EE2 – Segurança contra riscos de incêndio

Sem alteração em relação ao Guia.

### EE3 – Higiene, saúde e ambiente

- Absorção de água por capilaridade

Consideraram-se as mesmas exigências dos ETICS com acabamento por pintura: o sistema só é considerado satisfatório se a água absorvida pelo sistema sem acabamento (a superfície em contacto com a água é a camada de base) ou a água absorvida pelo sistema com cada um dos acabamentos for, após 1 h, menor ou igual a 1 kg/m<sup>2</sup>.

- Estanquidade
  - Comportamento higrotérmico

Propõe-se que o ETICS com acabamento cerâmico apresente um comportamento satisfatório quando não apresenta anomalias graves como é o caso do arqueamento ou empolamentos dos ladrilhos, fissuração dos ladrilhos e da argamassa de junta, perda de aderência dos ladrilhos, destacamento dos ladrilhos ou do sistema ao suporte, ou outras anomalias que ponham em causa a segurança dos utentes ou o seu desempenho e durabilidade.

- Análise da fissuração

Análise do comportamento da argamassa de juntas, antes e após ciclos higrotérmicos, através de utilização de tubos de *Karsten*, com valores não superiores a 1 cm<sup>3</sup> de permeabilidade à água sob baixa pressão ao fim de 120 minutos e através da velocidade de propagação de ultrassons. O sistema deve ser considerado satisfatório se não se verificarem variações superiores a 20 % nos resultados destes ensaios.

- Comportamento ao gelo-degelo

Adotaram-se as mesmas exigências do ETICS com acabamento por pintura: se a água absorvida pelo revestimento do sistema for inferior a  $0,5 \text{ kg/m}^2$ , considera-se o ETICS resistente ao gelo-degelo sem necessidade de ensaios adicionais. No entanto esta exigência deve ser verificada no sistema com acabamento cerâmico, já que a degradação dos ladrilhos com o gelo pode reduzir a durabilidade do sistema.

- Resistência ao choque e à perfuração

Para ETICS com acabamentos por pintura, os critérios previstos no ETAG 004 (EOTA 2000) permitem classificar os ETICS em três categorias – I, II ou III – através da combinação dos ensaios de choque de 3 J, de 10 J e ensaio de perfuração (Quadro 10). A categoria atribuída ao sistema corresponderá a diferentes zonas e condições de exposição aos choques da fachada (Quadro 10) (EOTA 2000).

- Permeabilidade ao vapor de água

Propõe-se o mesmo limite para a espessura da camada de ar de difusão equivalente ( $S_d$ ) do revestimento completo (camada de base mais revestimento de acabamento) não superior a 2,0 m para os sistemas quando o isolante térmico utilizado é um plástico celular (caso do poliestireno expandido) e de 1,0 m para os sistemas com lã mineral (EOTA 2000), ao risco de condensação internas. Definiu-se também que seria importante analisar as diferentes zonas do acabamento cerâmico.

#### EE4 – Segurança no uso

- Aderência do revestimento ao isolante – após ensaio higrotérmico

Para ETICS com acabamento por pintura as exigências mínimas necessárias de resistência ao arrancamento não devem ser inferiores a  $0,08 \text{ N/mm}^2$ , ou a rotura pelo isolante; com base nos resultados obtidos definiu-se um aumento deste valor para  $0,15 \text{ N/mm}^2$  devido ao maior peso e risco envolvido. Estabeleceu-se ainda um limite de  $32 \text{ kg/m}^2$  para a massa por unidade de superfície dos ladrilhos a aplicar.

- Aderência do revestimento ao isolante após choque de 10 J

Propõe-se a análise do ensaio de aderência após choque, porque aparentemente o choque provoca uma pequena massa, que poderá fraturar o ladrilho interiormente. A realização deste ensaio permitirá verificar se o valor da aderência não baixa



significativamente. Propõe-se uma análise da aderência após choques de 10 J, com valores não inferiores a 20 % dos valores em relação a aderência sem choque.

- Aderência do acabamento cerâmico à camada de base

Para esta metodologia foi proposta uma análise da aderência do acabamento cerâmico à camada de base; com base nos resultados obtidos a resistência ao arrancamento não deve ser inferior a 0,20 N/mm<sup>2</sup>, ou a tipologia de rotura ocorrer no seio da camada de base.

#### Durabilidade e a adequabilidade ao uso

O comportamento do ETICS relativamente aos aspetos de durabilidade e de adequação ao uso é avaliado mediante os resultados obtidos no ensaio higrotérmico, nos ensaios de resistência ao choque, perfuração e aderência e na resistência ao gelo-degelo; propõe-se que a durabilidade seja avaliada ainda através da análise da aderência após choques de 10 J, e dos ensaios de permeabilidade à água com tubos de *karsten* e de ultrassons antes e após os ciclos higrotérmicos.

## 5. CONCLUSÕES

O comportamento dos ETICS com acabamento por pintura é avaliado de acordo com o Guia da EOTA designado por ETAG 004 “Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with rendering”, onde se encontram definidas as várias exigências e métodos de ensaio. A aplicação do acabamento cerâmico sobre ETICS confere ao sistema um comportamento diferente em relação aos acabamentos por pintura, daí a necessidade de desenvolver uma metodologia para analisar o comportamento dos ETICS com estes acabamentos. Para isso, analisaram-se diversas variáveis como: o comportamento deste tipo de sistemas ao longo do tempo (análise do estado novo, com 1 ano de idade e após 2 anos), após o envelhecimento artificial com ciclos higrotérmicos; selecionou-se um acabamento com juntas refechadas com argamassa, a que se atribuiu a designação de acabamento Padrão e a partir deste, a cor do ladrilho e dimensões (acabamento Preto) para analisar possíveis dilatações térmicas que possam estar na origem de fissurações da argamassa de junta; analisou-se a influência do uso do reboco sobre o suporte; para proporcionar uma melhor ligação ao ETICS, variou-se a localização das buchas sobre o suporte (sobre as placas de isolante térmico ou após a aplicação da rede).

Na análise do sistema sujeito a ciclos higrotérmicos foram definidas novas exigências de acordo com anomalias que possam surgir em ETICS com acabamentos cerâmicos, como arqueamento ou empolamentos, fissuração, perda de aderência ou destacamento, alteração volumétrica, ou alteração da cor de ladrilhos, escorrimentos e fissuração da argamassa de juntas destacamento do sistema ao suporte.

Através da campanha experimental efetuada verificou-se que no ensaio de resistência ao choque e perfuração, não é difícil com a aplicação de acabamentos cerâmicos atingir a categoria I, porque é complicado penetrar com choque de 10 J e fissurar com choque de 3 J ou perfurar com punção de 12 mm. Verifica-se então que com os diferentes acabamentos cerâmicos estudados sobre ETICS o comportamento de resistência ao choque e perfuração melhorou face ao acabamento por pintura, não variando ao longo do tempo, nem mesmo após ciclos higrotérmicos.

As mossas provocadas pelo ensaio de choque, fundamentalmente pelo impacto de 10 J, sobre o acabamento cerâmico, poderão provocar internamente uma fratura no ladrilho; daí a necessidade de se executar o ensaio de aderência após choque, para analisar se há uma alteração significativa do valor da aderência.

Em ETICS com acabamentos cerâmicos, com argamassa de refechamento de juntas entre os ladrilhos, o seu comportamento à água foi analisado através do ensaio com tubos de *Karsten*; a baixa penetração de água através da argamassa apresentava um comportamento satisfatório para impermeabilização à água.

A fissuração interna da argamassa de juntas pode ser analisada através do ensaio com recurso a ultrassons. No caso estudado, verificou-se praticamente inexistência de fissuração; considerou-se assim e tendo em conta também os resultados dos ensaios de absorção de água, que através das juntas não existe, nesse caso, penetração de água significativa.

Como trabalhos futuros propõe-se analisar:

- o ensaio de fogo;
- a resistência de aderência por corte, através de um ensaio adaptado para essa situação, para melhor comprovar a segurança do limite proposto. Outro aspeto importante é continuar a monitorizar a redução da aderência com o envelhecimento;
- através da termografia visualizar as temperaturas superficiais da zona observada, para analisar possíveis condensações, descolamentos de ladrilhos e fendas internas (EDIS, FLORES-COLEN et al. 2011)
- comparar os coeficientes de dilatação térmica dos ladrilhos em relação à argamassa de refechamento de juntas e calcular as variações dimensionais diferenciais previsíveis no acabamento; para analisar a alteração volumétrica diferencial dos ladrilhos e argamassa de refechamento de juntas e consequente fissuração.
- calcular as variações dimensionais previsíveis no acabamento, assim como verificar se será suficiente a largura da junta prevista entre ladrilhos para o sistema;
- analisar juntas com fissuração profundas com tubos de *karsten* e após o ensaio remover amostra de revestimento para verificar se a água penetrou até ao isolante;
- avaliar a permeabilidade ao vapor de água com outros tipos de ladrilhos (por exemplo acabamentos Preto, Beje e Cinza e outros);

- avaliar se o tipo de colagem das placas ao suporte tem influência no desempenho do sistema de ETICS, considerando outros tipos de colagem que se costumam praticar noutros tipos de sistema de ETICS;
- avaliar a influência da variação do tipo de rede;
- avaliar a influência do tipo de isolante;
- executar um sistema sem a aplicação de cavilhas plásticas e realizar o ensaio de carga;
- recolher amostras sujeitas a ensaio higrotérmicos e após 2 anos, para submetê-las ao ensaio de capilaridade e permeabilidade ao vapor de água comparando com os valores das amostras no estado novo;
- aprofundar o problema das condensações intersticiais nestes sistemas, procurando definir um campo de aplicação para sistemas com menor permeabilidade ao vapor de água.

A metodologia proposta poderá servir de base para elaborar um guia simplificado (CUAP) para avaliação de sistemas ETICS com acabamento de ladrilhos cerâmicos.

## BIBLIOGRAFIA

[P] - Leis, d., etc. (1993). Transposição para a legislação portuguesa da diretiva nº 89/106/CEE, de 21 de dezembro de 1989, do Conselho das Comunidades Europeias - Diretiva dos produtos da construção (CPD). Decreto-Lei nº 113/93, de 10 de abril e Portaria nº 566/93. L. D. d. República.

ABALADA, V. (2008). Aplicação de Sistemas de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS). Coimbra, FCTUC. **Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Construções.**

ABREU, M. and J. A. C. LUCAS (2002). Terminologia geral sobre patologia da construção. Lisboa, LNEC **Relatório 326/02 – SCPN**.

AL-HOMOUD, M. S. (2005). "Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation material." Building and Environment **40**: 353-366.

CEN (2007). Fire classification of construction products and building elements. Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests.

COLLINA, A. and G. P. LIGNOLA (2010). The External Thermal Insulation Composite System (ETICS): More than Comfort and Energy Saving. 3º Congresso Português de Argamassas de Construção. Lisboa: LNEC.

EDIS, E., I. FLORES-COLEN, et al. (2011). Effect of the Inspection Conditions on the In-Situ Infrared Thermographic Examination of Facades with Adhered Ceramic Cladding. XII DBMC – 12th International Conference on Building Materials and Components. Porto: FEUP.

EOTA (2000). Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering - ETAG 004. Brussels: EOTA.

EOTA (2002). Guideline for European Technical Approval of plastic anchors for fixing of External Thermal Insulation Composite Systems with rendering - ETAG 014. Brussels: EOTA.

LNEC (1995 a). Curso de revestimentos de paredes. Lisboa: LNEC.

LNEC (1995 b). Curso de Isolamento térmico de edifícios. Lisboa: LNEC.

LNEC (2004). Revestimentos em edifícios recentes. Lisboa: LNEC.

LNEC (2007). Documento de homologação de redes para reforço de revestimentos de paredes VIPLÁS 50, VIPLÁS 90, VIPLÁS 100, VIPLÁS Mi 167 E VIPLÁS AR 95 DH 873. NRI. Lisboa

LNEC (2010). Ficha de Ensaio de revestimentos de paredes FE Pa 43. Revestimentos de paredes. Ensaio de ultrassons. Lisboa. LNEC, setembro de 2010.

LNEC (2011). European Technical Approval of WEBER.THERM CLASSIC ETA 11/0287. NRI. Lisboa

LUCAS, J. A. C. (1990 a). Classificação e descrição geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou de betão. Lisboa: LNEC, Informação Técnica de Edifícios ITE 24.

LUCAS, J. A. C. and M. ABREU (2005). Revestimentos cerâmicos colados. Descolamento. Lisboa: LNEC.

MALANHO, S. and M. R. VEIGA (2011 a). Performance of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with finishing ceramic tiles. XII DBMC – 12th International Conference on Building Materials and Components. Porto: FEUP.

MALANHO, S. and M. R. VEIGA (2011 b). Análise do desempenho das juntas entre ladrilhos cerâmicos aplicados sobre ETICS. IX SBTA – Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Belo Horizonte.

MATIAS, L. (2002). Avaliação do desempenho térmico de proteções aplicadas em coberturas inclinadas. FCUL. Lisboa, Universidade de Lisboa **Tese de Mestrado apresentada à Faculdade de Ciências de Universidade de Lisboa (FCUL)**.

MIRANDA-DIAS, J. (2004). Módulo 1. Metodologias gerais para conservação e reabilitação de Edifícios Recentes - Descrição geral de métodos de diagnóstico de causas e anomalia. Curso sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios Recentes. Lisboa: LNEC.

MIRANDA-DIAS, J. (2009). Aspectos condicionantes da vida útil de ancoragens de cavilhas plásticas aplicadas em elementos de betão e de alvenaria de edifícios e sujeitas a tração e corte. 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. Porto: FEUP.

MORET-RODRIGUES, A., A. CANHA-DA-PIEDADE, et al. (2009). Térmica dos edifícios.

NILICA, R. and H. HARMUTH (2005). "Mechanical and fracture mechanical characterization of building materials used for external thermal insulation composite systems." Cement and Concrete Research **35**(8): 1641-1645.

PINA-SANTOS, C. (2009). Aspetos do desempenho ao fogo do isolamento térmico pelo exterior de paredes. Construção Magazine. **32**.

PINA-SANTOS, C. and L. MATIAS (2008). Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Lisboa: LNEC.

RAMOS, N., E. BARREIRA, et al. (2009). Análise de condensações internas em paredes – Aplicação de modelos de diferente complexidade. 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. Porto: FEUP.

SERRA-e-SOUSA, A. V., V. P. FREITAS, et al. (2003). Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos. Coimbra, APICER/CTCV/FEUP/FCTUC.

VEIGA, M. R. and S. MALANHO (2010 a). Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS): Comportamento global e influência dos componentes. 3º Congresso Português de Argamassas de Construção. Lisboa: LNEC.

VEIGA, M. R. and S. MALANHO (2010 b). Regras para a Concessão de uma Aprovação Técnica Europeia (ETA) de Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS). Lisboa, LNEC **Relatório 1/2010 – NRI**.

VEIGA, M. R. and C. PINA-SANTOS (2006). Avaliação da aptidão ao uso de sistemas de isolamento térmico para paredes do tipo ETICS. Encontro QIC 2006 Lisboa: LNEC.

VEIGA, M. R. and C. PINA-SANTOS (2009 a). Revestimentos de isolamento térmico de fachada: eficiência, durabilidade e comprovação de qualidade. Construção Magazine. **32**: 12-18.

VEIGA, M. R. and C. PINA-SANTOS (2009 b). Contribuição dos revestimentos de fachada para a eficiência energética dos edifícios. 4ªs Jornadas PINTUMED. Lisboa: Centro Cultural de Belém.

